



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DIAGNÓSTICO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS EN LA INDUSTRIA,  
PARA DETERMINACIÓN DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**David Aníbal Figueroa Lemus**

Asesorado por el MSc. Ing. Luis Enrique Lima Guzmán

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS EN LA INDUSTRIA,  
PARA DETERMINACIÓN DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DAVID ANÍBAL FIGUEROA LEMUS**

ASESORADO POR EL MSc. ING. LUIS ENRIQUE LIMA GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos    |
| VOCAL I    | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II   | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV   | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos    |
| VOCAL V    | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz       |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez     |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**


|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos     |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma   |
| EXAMINADOR | Ing. Francisco Javier González López |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Gálvez Castillo         |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez      |

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DIAGNÓSTICO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS EN LA INDUSTRIA, PARA DETERMINACIÓN DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de mayo de 2011.



**David Anibal Figueroa Lemus**

Guatemala 1 de Marzo del 2014

Ingeniero  
Guillermo Puente  
Director de Escuela  
Escuela de Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetable Ingeniero:


Atentamente me dirijo a usted para informarle que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante **David Aníbal Figueroa Lemus** con número de carné **2002-12920** de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica cuyo título es:

**“DIAGNÓSTICO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS EN LA INDUSTRIA, PARA DETERMINACIÓN DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA”,**

Considero que el trabajo presentado por el estudiante ha sido desarrollado cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito el trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

  
Ing. Luis Enrique Lima Guzmán MSc  
Colegiado No 3653

Ing. Luis Enrique Lima Guzmán. MSc.  
Colegiado 3653.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 24. 2014  
Guatemala, 19 de MAYO 2014.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**DIAGNÓSTICO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS  
EN LA INDUSTRIA, PARA DETERMINACIÓN DE AHORRO DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA,** del estudiante **David Aníbal Figueroa  
Lemus,** que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Raulo Nefthali López Orozco  
Coordinador Área Electrotécnica



STO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 24. 2014.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; DAVID ANÍBAL FIGUEROA LEMUS titulado: DIAGNÓSTICO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS EN LA INDUSTRIA, PARA DETERMINACIÓN DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 3 DE JUNIO 2014.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 395.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DIAGNÓSTICO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS EN LA INDUSTRIA, PARA DETERMINACIÓN DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, presentado por el estudiante universitario **David Aníbal Figueroa Lemus**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 13 de agosto de 2014

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Dios</b>                         | Por darme sabiduría y salud para desempeñarme en el cumplimiento de mis metas.  |
| <b>Mis padres</b>                   | Aníbal Figueroa y Aída Lemus, por brindarme todo el apoyo incondicional durante mis estudios y confianza para tomar mis decisiones. |
| <b>Mi esposa</b>                    | Alejandra Velásquez. Por ser un importante apoyo en mi carrera y ayuda incondicional durante la última etapa.                       |
| <b>Mi hija</b>                      | Amelia, próxima en nacer a quien se lo dedico como ejemplo de perseverancia.  |
| <b>A mis hermanas y<br/>cuñados</b> | Por compartir este éxito en mi vida.  |
| <b>Mis amigos</b>                   | Que de una forma u otra fueron un importante apoyo en mi carrera.   |

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa casa de estudios.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme esa grata experiencia de vida y formación como profesional.

**Escuela de Mecánica  
Eléctrica**

Por brindarme estos invaluable conocimientos los cuales aplico diariamente.

**Ing. Luis Lima**

Por haberme dado todo su apoyo y confianza para la elaboración de este trabajo de graduación.

**Ing. Francisco Ochoa,  
Ing. José Carlos Luna e  
Ing. Hugo Girón**

Por brindarme el apoyo en mi trabajo y ser parte importante de la última etapa de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

|  |       |
|--|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....   | IX    |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | XI    |
| GLOSARIO .....   | XIII  |
| RESUMEN.....   | XIX   |
| OBJETIVOS.....   | XXI   |
| INTRODUCCIÓN .....   | XXIII |
| <br>   |       |
| 1. METODOLOGÍA PARA EFECTUAR DIAGNÓSTICOS EN<br>AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....                              | 1     |
| 1.1. Procedimiento.....  | 1     |
| 1.1.1. Aspectos a diagnosticar.....  | 1     |
| 1.1.1.1. Operativo .....   | 1     |
| 1.1.1.2. Económico.....  | 2     |
| 1.1.2. Niveles de diagnóstico.....   | 2     |
| 1.1.3. Metodología para realizar un diagnóstico<br>energético.....   | 4     |
| 1.1.3.1. Elaboración de estrategia de trabajo .....  | 5     |
| 1.1.3.2. Recopilación de la información.....   | 6     |
| 1.1.3.3. Evaluación del estado de consumo<br>de energía actual.....  | 8     |
| 1.1.3.4. Determinación del potencial de<br>ahorro de energía .....   | 9     |
| 1.1.3.5. Análisis de factibilidad técnica para<br>la ejecución de las propuestas de<br>ahorro de energía ..... | 10    |

|        |   |   |    |
|--------|---|---|----|
|        | 1.1.3.6.  | Evaluación económica .....  | 10 |
|        | 1.1.3.7.  | Selección de las medidas<br>ahorradoras a implementar .....         | 11 |
|        | 1.1.3.8.  | Aplicación de acciones correctivas.....                             | 14 |
| 2.     | OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN<br>SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO ..... |   | 15 |
| 2.1.   | Sistemas de aire acondicionado .....  |   | 15 |
| 2.2.   | Evaluación para ahorro de energía en sistemas de aire<br>acondicionado .....          |   | 19 |
| 2.2.1. | Cargas térmicas externas.....   |   | 19 |
|        | 2.2.1.1.  | Calor por radiación solar sobre el<br>inmueble.....                 | 20 |
|        | 2.2.1.2.  | Aporte de calor a través de paredes,<br>ventanas y techos .....     | 22 |
|        | 2.2.1.3.  | Calor por los equipos de iluminación....                            | 22 |
|        | 2.2.1.4.  | Generación de calor por equipos de<br>oficina.....                  | 23 |
|        | 2.2.1.5.  | Calor emitido por las personas.....                                 | 24 |
|        | 2.2.2.  | Equipos para aire acondicionado .....                               | 24 |
|        | 2.2.3.  | Cálculo de capacidad de aire acondicionado<br>para un recinto ..... | 26 |
| 2.3.   | Zona de <i>comfort</i> .....  |   | 27 |
| 2.4.   | Ejemplo para ahorro en A/C.....   |   | 28 |
| 3.     | OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES<br>DE INDUCCIÓN.....                      |   | 31 |
| 3.1.   | Motores eléctricos en la industria .....  |   | 31 |
| 3.2.   | Pérdidas de energía .....   |   | 32 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.3.     | Eficiencia .....  | 33 |
| 3.4.     | Factor de carga .....   | 35 |
| 3.5.     | Factor de servicio .....  | 36 |
| 3.6.     | Potencia adecuada del motor .....   | 36 |
| 3.7.     | El par en motores de inducción .....  | 37 |
| 3.8.     | Pares del motor (torques) .....   | 37 |
| 3.9.     | Deslizamiento .....   | 38 |
| 3.10.    | Ejemplo para ahorro en motores de inducción .....                             | 39 |
| 4.       | OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN<br>SISTEMAS DE ILUMINACIÓN..... | 41 |
| 4.1.     | Magnitudes luminotécnicas y su relación .....                                 | 42 |
| 4.1.1.   | Flujo luminoso.....   | 42 |
| 4.1.2.   | Nivel de iluminación o iluminancia .....                                      | 43 |
| 4.1.3.   | Intensidad luminosa.....  | 44 |
| 4.1.4.   | Luminancia .....  | 46 |
| 4.2.     | Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia .....                          | 46 |
| 4.3.     | Elementos para ahorro en sistemas de iluminación .....                        | 47 |
| 4.3.1.   | Reflectores especulares .....   | 48 |
| 4.3.2.   | Dispositivos sencillos de control automático.....                             | 49 |
| 4.3.2.1. | Relevadores de temporización .....  | 49 |
| 4.3.2.2. | Sensores de presencia .....   | 50 |
| 4.3.2.3. | Fotosensores o fotoceldas.....  | 50 |
| 4.4.     | Tipos de lámparas .....   | 51 |
| 4.4.1.   | Lámparas incandescentes.....  | 51 |
| 4.4.2.   | Lámparas fluorescentes .....  | 52 |
| 4.4.3.   | Lámparas fluorescentes compactas .....  | 54 |
| 4.4.4.   | Lámparas de inducción.....  | 55 |
| 4.4.5.   | Lámparas de vapor de mercurio.....  | 56 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 4.4.6.  | Lámparas de vapor de sodio en alta presión.....                                    | 57 |
| 4.4.7.  | Lámparas de vapor de sodio en baja presión.....                                    | 59 |
| 4.4.8.  | Lámparas de aditivos metálicos .....   | 60 |
| 4.4.9.  | Lámparas de luz mixta .....  | 61 |
| 4.4.10. | Diodos emisores de luz, LEDs .....   | 62 |
| 4.5.    | Oportunidad de ahorro de energía en sistemas de<br>iluminación .....               | 63 |
| 5.      | OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN<br>SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO ..... | 65 |
| 5.1.    | Costo del aire comprimido.....   | 66 |
| 5.2.    | Análisis del sistema de aire comprimido .....                                      | 68 |
| 5.2.1.  | Suministro .....   | 68 |
| 5.2.2.  | Demanda del sistema.....   | 69 |
| 5.2.3.  | Diagrama del sistema.....  | 69 |
| 5.2.4.  | Sistema de distribución .....  | 70 |
| 5.2.5.  | Mantenimiento .....  | 70 |
| 5.3.    | Estrategias de ahorro y uso eficiente de un sistema de aire<br>comprimido.....     | 71 |
| 5.3.1.  | Fugas .....  | 71 |
| 5.3.2.  | Presión del compresor .....  | 71 |
| 5.3.3.  | Encontrar demandas extras .....  | 72 |
| 5.3.4.  | Usos inapropiados.....   | 72 |
| 5.3.5.  | Recuperación de calor .....  | 72 |
| 5.3.6.  | Filtros de aire.....   | 73 |
| 5.3.7.  | Tamaño del compresor.....  | 73 |
| 5.3.8.  | Tanque de almacenamiento .....   | 73 |
| 5.3.9.  | Aire de admisión.....  | 77 |
| 5.3.10. | Fajas .....  | 77 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 5.4.     | Tipos de sistemas de distribución de aire comprimido .....                               | 78 |
| 5.4.1.   | Sistema de distribución ramificado .....   | 79 |
| 5.4.2.   | Sistema de distribución en anillo .....  | 80 |
| 6.       | OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN<br>SISTEMAS DE BOMBEO.....                 | 81 |
| 6.1.     | Curva característica de la bomba .....   | 81 |
| 6.2.     | Factores que afectan la eficiencia de una bomba .....                                    | 83 |
| 6.2.1.   | Pérdidas volumétricas .....  | 83 |
| 6.2.2.   | Pérdidas hidráulicas .....   | 83 |
| 6.2.3.   | Cavitación.....  | 83 |
| 6.2.4.   | Pérdidas mecánicas .....   | 84 |
| 6.2.5.   | Características del líquido.....   | 84 |
| 6.2.6.   | Condiciones de instalación .....   | 85 |
| 6.2.6.1. | Pérdidas en motor y acoplamiento .....   | 85 |
| 6.2.6.2. | Pérdidas en la bomba.....  | 86 |
| 6.2.6.3. | Alineación .....   | 86 |
| 6.2.6.4. | Impulsores .....   | 87 |
| 6.2.7.   | Recorte de impulsores.....   | 87 |
| 6.2.8.   | Consideraciones de operaciones ineficientes.....   | 87 |
| 6.2.9.   | Acuíferos.....   | 88 |
| 6.2.10.  | Sobredimensionamiento .....  | 89 |
| 6.3.     | Factores que incrementan la eficiencia de una bomba .....                                | 90 |
| 6.4.     | Curva de operación del sistema de bombeo .....   | 91 |
| 6.4.1.   | Carga estática total.....  | 91 |
| 6.4.2.   | Carga dinámica total.....  | 92 |
| 6.4.2.1. | Método de medición de pérdida de<br>presión global mediante el uso de<br>manómetros..... | 92 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 6.4.2.2. | Cálculo teórico de pérdida de tuberías .....  | 92  |
| 6.4.2.3. | Cálculo teórico de pérdida de tuberías .....  | 93  |
| 6.4.3.   | Construcción de la curva del sistema .....  | 94  |
| 6.5.     | Métodos de regulación de caudal .....   | 95  |
| 6.5.1.   | Regulación de caudal por estrangulación .....                                       | 96  |
| 6.5.2.   | Regulación de caudal mediante desvío o <i>by-pass</i> .....                         | 96  |
| 6.5.3.   | Regulación del caudal por variación de la velocidad de rotación de la máquina ..... | 97  |
| 6.5.4.   | Arranque o paro de la bomba.....  | 99  |
| 7.       | METODOLOGÍA PARA OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....                           | 101 |
| 7.1.     | Compensación del factor de potencia .....   | 104 |
| 7.2.     | Formas de compensación .....  | 104 |
| 7.2.1.   | Individual .....  | 104 |
| 7.2.2.   | Compensación por grupos .....   | 105 |
| 7.2.3.   | Compensación central con sistema automático de regulación.....                      | 106 |
| 7.3.     | Cálculo para optimización del factor de potencia .....                              | 107 |
| 8.       | ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TARIFAS .....                   | 109 |
| 8.1.     | Sistema de administración de energía .....  | 109 |
| 8.1.1.   | Controlador de la demanda .....   | 111 |
| 8.1.2.   | Controles de encendido y apagado.....   | 112 |
| 8.1.3.   | Controles lógicos programables (PLC).....   | 113 |



|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 8.2.     | Tarifas eléctricas .....  | 114 |
| 9.       | MÉTODOS PARA EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD EN<br>UN PROYECTO DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ..... | 121 |
| 9.1.     | Etapas principales de un proyecto.....  | 121 |
| 9.2.     | Procedimientos de reemplazo de equipo y maquinaria .....  | 123 |
| 9.2.1.   | Tipos de reemplazo .....  | 124 |
| 9.2.2.   | Cálculo de la vida económica de activos .....   | 125 |
| 9.2.3.   | Análisis de reemplazo del activo actual .....   | 125 |
| 9.3.     | Aspectos de evaluación técnica y económica .....  | 126 |
| 9.4.     | Cálculo de potenciales de ahorro energético.....  | 128 |
| 9.5.     | Criterios de evaluación .....   | 128 |
| 9.6.     | Métodos de evaluación financiera de proyectos.....  | 130 |
| 9.6.1.   | Concepto de rentabilidad.....   | 130 |
| 9.7.     | Métodos de evaluación de inversiones.....   | 132 |
| 9.7.1.   | Contable .....  | 132 |
| 9.7.2.   | Flujos descontados.....   | 133 |
| 9.7.2.1. | Valor Presente Neto (VPN).....  | 134 |
| 9.7.2.2. | Tasa Interna de Retorno (TIR).....  | 135 |
| 9.7.2.3. | Tasa de Retorno Mínima Aceptada<br>(TREMA).....   | 137 |
| 9.8.     | Datos de la medida de ahorro .....  | 137 |
| 9.9.     | Período o tiempo de recuperación.....   | 138 |
| 9.9.1.   | Evaluación de ahorro utilizando período de<br>recuperación .....                                  | 139 |
|          | CONCLUSIONES .....  | 141 |
|          | RECOMENDACIONES.....  | 143 |
|          | BIBLIOGRAFÍA.....   | 145 |



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1.  | Diagrama de bloques para la elaboración de un diagnóstico energético.....             | 14  |
| 2.  | Ciclo termodinámico.....  | 16  |
| 3.  | Carta bioclimática de Givoni para la ciudad de Veracruz, México.....                  | 28  |
| 4.  | Pérdidas en un motor eléctrico .....  | 32  |
| 5.  | Ensayos de eficiencia de motores de inducción según norma europea IEC 60034-2-1 ..... | 35  |
| 6.  | Ángulo $\omega$ del nivel de iluminación (candela) .....                              | 45  |
| 7.  | Sistema de aire comprimido .....  | 66  |
| 8.  | Sistema de distribución de aire comprimido .....                                      | 70  |
| 9.  | Curva característica de una bomba centrífuga.....                                     | 82  |
| 10. | Curva de pérdidas de fricción en el sistema.....                                      | 94  |
| 11. | Curva de operación del sistema de bombeo .....  | 95  |
| 12. | Triángulo de potencias .....  | 102 |
| 13. | Costo de activo a través del tiempo .....   | 126 |

## TABLAS

|      |  |    |
|------|--|----|
| I.   | Factores de emisión y absorción de algunas superficies ..... | 21 |
| II.  | Ganancia de calor por tipo de iluminación .....              | 23 |
| III. | Comparaciones genéricas.....                                 | 25 |
| IV.  | Magnitudes luminotécnicas .....                              | 42 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| V.    | Niveles de iluminación para áreas de trabajo.....       | 44  |
| VI.   | Reflexión aproximada.....                               | 48  |
| VII.  | Datos de lámparas incandescentes .....                  | 52  |
| VIII. | Datos de lámparas fluorescentes .....                   | 53  |
| IX.   | Datos de lámparas fluorescentes compactas.....          | 54  |
| X.    | Datos de lámparas de inducción .....                    | 56  |
| XI.   | Datos de lámpara de vapor de mercurio .....             | 57  |
| XII.  | Datos lámparas de vapor sodio a alta presión .....      | 58  |
| XIII. | Datos de lámpara de vapor de sodio a baja presión ..... | 59  |
| XIV.  | Datos de lámparas de aditivos metálicos .....           | 60  |
| XV.   | Datos de lámparas de luz mixta .....                    | 61  |
| XVI.  | Tarifas energía eléctrica – diciembre 2013 .....        | 114 |
| XVII. | Categorías de usuarios de energía eléctrica .....       | 118 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b> | <b>Significado</b>  |
|----------------|---|
| <b>AP</b>      | Alumbrado público   |
| <b>BTDp</b>    | Baja tensión con demanda en punta   |
| <b>BTDfp</b>   | Baja tensión con demanda fuera de punta   |
| <b>BT</b>      | Baja tensión, de 0 a 1 000 voltios  |
| <b>BTH</b>     | Baja tensión horaria  |
| <b>BTS</b>     | Baja tensión simple   |
| <b>BTU/HR</b>  | Capacidad de un aire acondicionado. 12 000<br>BTU/hora = 1 tonelada de refrigeración/hora   |
| <b>MHz</b>     | Equivale a 10 <sup>6</sup> hercios (1 millón). Se utiliza muy<br>frecuentemente como unidad de medida de la<br>frecuencia de trabajo de un dispositivo de hardware,<br>o bien como medida de ondas electromagnéticas en<br>telecomunicaciones |
| <b>kCal/h</b>  | Equivale a 1 000 calorías (unidad de energía) por<br>hora   |
| <b>kW</b>      | Equivale a 1 000 vatios. Un kW equivale a 1,35984<br>caballos de vapor  |
| <b>kWh</b>     | Equivale a 1 000 vatios utilizados en una hora  |
| <b>kVA</b>     | Equivale a 1 000 voltio-amperios (potencia aparente)  |
| <b>kVAR</b>    | Equivale a 1 000 voltio-amperios reactivos (potencia<br>reactiva)   |
| <b>kVARh</b>   | Equivale a 1 000 voltio-amperios reactivos utilizados<br>por hora   |

|              |  |
|--------------|--|
| <b>MTDfp</b> | Mediana tensión con demanda fuera de punta         |
| <b>MTDp</b>  | Mediana tensión con demanda en punta               |
| <b>MT</b>    | Mediana tensión, de 1 000 voltios a 13 800 voltios |
| <b>MTH</b>   | Mediana tensión horaria                            |
| <b>PBT</b>   | Peaje en función de transportista baja tensión     |
| <b>PMT</b>   | Peaje en función de transportista media tensión    |
| <b>TS</b>    | Tarifa social.                                     |

## GLOSARIO

- ASHRAE** Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, fundada en 1894 con más de 54 000 miembros alrededor del mundo quienes se enfocan en la construcción de sistemas, eficiencia energética, calidad del aire interior, la refrigeración y la sostenibilidad dentro de la industria.
- Balastro** Es un equipo que sirve para mantener estable y limitar un flujo de corriente para lámparas, ya sea un tubo fluorescente, una lámpara de vapor de sodio, una lámpara de haluro metálico o una lámpara de vapor de mercurio.
- BHP** *Brake Horse Power* o Caballo de Potencia en la Flecha. Es la medida de la potencia de un motor antes de que la pérdida de potencia causada por la caja de cambios, alternador, diferencial, bomba de agua, y otros componentes auxiliares, tales como la bomba de dirección asistida, sistema de escape amortiguado y otros. Freno se refiere a un dispositivo que se utiliza para cargar un motor y mantenerlo a una velocidad de rotación deseada.

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Bioclimática</b> | Consiste en el diseño de edificios teniendo en cuenta las condiciones climáticas, aprovechando los recursos disponibles (sol, vegetación, lluvia, vientos) para disminuir los impactos ambientales, intentando reducir los consumos de energía.   |
| <b>BTU</b>          | Unidad de energía, abreviación de <i>British Thermal Unit</i> (Unidad térmica británica) equivalente a 252 calorías.  |
| <b>Compresor</b>    | Trabaja entregándole energía a un fluido compresible. Esta energía es adquirida por el fluido en forma de energía cinética y presión (energía de flujo).  |
| <b>Condensador</b>  | Un condensador térmico es un intercambiador de calor entre fluidos, de modo que mientras uno de ellos se enfría, pasando de estado gaseoso a estado líquido, el otro se calienta. Se fabrican en tamaños y disposiciones diversas para ser empleados en numerosos procesos térmicos.  |
| <b>Confort</b>      | El <i>confort</i> (galicismo de confort) es aquello que produce bienestar y comodidades. Cualquier sensación agradable o desagradable que sienta el ser humano le impide concentrarse en lo que tiene que hacer. Por ejemplo, temperatura confort es la temperatura en la que el cuerpo se siente cómodo, esta temperatura se suele utilizar en los comercios |



para crear un espacio agradable al usuario y que invite a permanecer tiempo en él.

**Climograma**

Es un gráfico en el que se representan las precipitaciones y las temperaturas de un lugar en un determinado período de tiempo.

**Diagramas unifilares**

Es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella. Se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores. Típicamente el diagrama unifilar tiene una estructura de árbol.

**Electrodos**

Un electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo un semiconductor, un electrolito, el vacío (en una válvula termoiónica), un gas (en una lámpara de neón).

**Estereorradián**

Unidad derivada del sistema inglés que mide ángulos sólidos.

**Estopero**

También se le dice prensaestopas, es el alojamiento de la empaquetadura que sella el vástago de comando de la válvula o bomba. Esa parte de la válvula evita la fuga de fluido hacia el exterior.

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Flujo másico</b> | En física, es la magnitud que expresa la variación de la masa en el tiempo.   |
| <b>Gas argón</b>    | Es un elemento químico de número atómico 18 y símbolo Ar. Es el tercero de los gases nobles, incoloros e inertes como ellos, constituye el 0,934 por ciento del aire seco.  |
| <b>Gas xenón</b>    | Es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Xe y su número atómico el 54. Gas noble inodoro, muy pesado, incoloro, el xenón está presente en la atmósfera terrestre sólo en trazas y fue parte del primer compuesto de gas noble sintetizado.  |
| <b>Hp</b>           | Caballos de potencia. También llamado caballo de fuerza y en inglés <i>horse power</i> , es una unidad de potencia utilizada en el sistema anglosajón de unidades. Se denota hp, HP o Hp, del término inglés <i>horse power</i> .   |
| <b>IEC</b>          | La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC por sus siglas en inglés, <i>International Electrotechnical Commission</i> ) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Numerosas normas se desarrollan conjuntamente con la ISO (normas ISO/IEC). |
| <b>Implosión</b>    | Es la compresión de una masa fisionable subcrítica.   |

|               |   |
|---------------|---|
| <b>LED</b>    | Diodo Emisor de Luz ( <i>Light Emitting Diode</i> ), es un objeto que permite el flujo de corriente en una sola dirección.  |
| <b>Lumen</b>  | Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.   |
| <b>Lux</b>    | Nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado cuando sobre ella incide, uniformemente repartido, un flujo luminoso de un lumen.                                       |
| <b>Hz</b>     | Se utiliza muy frecuentemente como unidad de medida de la frecuencia de trabajo de un dispositivo de hardware, o bien como medida de ondas electromagnéticas en telecomunicaciones. |
| <b>Newton</b> | Unidad básica de fuerza en el Sistema Internacional de Unidades.  |
| <b>NPSH</b>   | (Net Positive Suction Head): carga neta positiva de succión.  |
| <b>Rotor</b>  | Parte giratoria de una máquina eléctrica.   |
| <b>TIR</b>    | Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rentabilidad.   |

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>TON</b>       | Abreviación de tonelada, la cual equivale a 1 millón de gramos.   |
| <b>TREMA</b>     | Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable.   |
| <b>Tungsteno</b> | El wolframio o volframio, también llamado tungsteno, es un elemento químico de número atómico 74 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. |
| <b>VAN</b>       | Valor Actual Neto igual al VPN.   |
| <b>VPN</b>       | Valor Presente Neto.  |
| <b>Watt</b>      | Vatio, unidad de potencia del sistema internacional SI.   |

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se explica de manera práctica, cómo evaluar los equipos y sistemas más comunes y con mayor oportunidad para ahorro de energía eléctrica en la industria. El ahorro de energía en los últimos años ha obtenido un papel de suma importancia dentro del desarrollo de un país. Sin embargo, en Guatemala los índices energéticos (producción vs. unidad de energía utilizada), siguen siendo costosos comparados con los respectivos valores de los países altamente industrializados; el mejorar estos índices depende de aprovechar al máximo la energía que se requiere en los procesos de producción.

En el primer capítulo se describe cómo efectuar y qué tipos de diagnósticos se pueden realizar para determinar ahorro de energía eléctrica en los equipos más utilizados en la industria. En los capítulos del dos al seis se explica cómo dimensionar de manera correcta equipos eléctricos utilizados en sistemas comunes en la industria, así mismo cómo evaluar puntos clave de diseño y tecnologías para obtener mayor eficiencia. En el capítulo siete se evalúan métodos para optimizar el factor de potencia, así evitar multas y daños a los equipos.

En el capítulo ocho se estudia cómo se debe administrar y qué sistemas se pueden utilizar en la demanda de energía eléctrica. Además se comparan las tarifas eléctricas dependiendo el tipo de demanda que se puede utilizar. En el último capítulo se visualizan métodos para evaluar la rentabilidad de un proyecto de ahorro de energía eléctrica después de haber realizado un estudio con los anteriores capítulos.



# OBJETIVOS

## General

Realizar diagnósticos de los principales equipos y sistemas en la industria, para determinación de ahorro de energía eléctrica.

## Específicos

1. Presentar la metodología para efectuar diagnósticos en ahorro de energía eléctrica.
2. Encontrar oportunidad de ahorro de energía eléctrica en sistemas de aire acondicionado, motores de inducción, sistemas de iluminación, sistemas de aire comprimido y sistemas de bombeo.
3. Proponer métodos para administración de la demanda de energía eléctrica y verificación de tarifas eléctricas.
4. Presentar metodologías para evaluación de la rentabilidad en un proyecto de ahorro de energía eléctrica.





## INTRODUCCIÓN

El diagnóstico energético es una herramienta que ayuda a determinar qué cantidad, en qué momento, cómo se utiliza, dónde y por qué se consume la energía eléctrica, así como la forma para establecer el grado de eficiencia en su utilización.

Para ello, se requiere, tanto de una inspección minuciosa de las instalaciones como de un análisis energético detallado de los consumos y la forma en que se usa la energía. Las medidas que se implementen como resultado del diagnóstico energético, permitirán alcanzar ahorros significativos a corto, mediano y largo plazo.

Es importante mencionar que realizar un diagnóstico de consumo de energía eléctrica de los principales equipos y sistemas en la industria, como lo son: sistemas de aire acondicionado, motores de inducción, sistemas de iluminación, sistemas de aire comprimido y sistemas de bombeo, es nada más que un estudio para verificación de calidad de energía, calcular costos de consumo, modificación de medidas operativas y/o administrativas para lograr ahorro, promover mejores prácticas por parte del personal y por último tomar medidas rentables en cambios de tecnología o nuevas inversiones para alcanzar ahorros importantes.



# **1. METODOLOGÍA PARA EFECTUAR DIAGNÓSTICOS EN AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

## **1.1. Procedimiento**

El diagnóstico energético proporciona un análisis completo de toda la parte energética de la industria, tanto de equipos y aparatos como de sistemas auxiliares, así como los detalles operativos de cada uno de ellos y de manera integral.

### **1.1.1. Aspectos a diagnosticar**

Es de suma importancia saber cuáles son los aspectos importantes a diagnosticar, tanto operativos como económicos al momento de realizar un diagnóstico energético. Ambos se describen a continuación:

#### **1.1.1.1. Operativo**

Es el aspecto que describe y enumera las cantidades de equipos y sistemas eléctricos que operan en determinada industria en la cual se realizará el diagnóstico. En ellos se pueden analizar desde consumo hasta posibilidad de autogeneración.

- Inventario de equipo consumidor de energía
- Inventario de equipo generador de energía
- Detección y evaluación de fugas y desperdicios
- Análisis del tipo y frecuencia del mantenimiento

- Inventario de instrumentación
- Posibilidades de sustitución de equipos
- Diagramas unifilares
- Posibilidad de autogeneración y cogeneración

#### **1.1.1.2. Económico**

En el diagnóstico del aspecto económico, se investigarán y analizarán temas como costos de energía utilizada y desperdiciada. Con esto se podrá realizar evaluaciones económicas de la relación costo-beneficio para las medidas de ahorro. Los diagnósticos económicos a identificar son los siguientes:

- Precios actuales y posibles cambios de los precio de la energía eléctrica
- Estimación económica de desperdicios
- Consumos específicos de energía
- Evaluación económica de medidas de ahorro
- Relación costo-beneficio de medidas para eliminar desperdicios
- Precio de energía eléctrica comprada (Q/kW.h, Quetzales por kW consumido en una hora)

#### **1.1.2. Niveles de diagnóstico**

El diagnóstico energético se puede clasificar en 3 niveles, ya que cada uno abarca distintas clases de estudios. En estos niveles de diagnóstico se verifican desde aspectos visuales hasta costumbres de operación en un equipo.

El diagnóstico de nivel uno o básico, se lleva a cabo mediante un examen visual del proceso industrial o instalación de que se trate, reconociendo y

revisando el diseño original de los equipos consumidores de energía, para dar una idea de los potenciales de ahorro de energía que se pueden lograr por modificación en los hábitos de operación, corrección de desperdicios o por la incorporación de tecnologías eficientes. De este diagnóstico se pueden obtener buenas recomendaciones a nivel general. Por ejemplo, fugas de energía, mala operación de los equipos y/o instrumentos, equipos que pueden reemplazarse por otros más eficientes, como motores, compresores, aires acondicionados, luces y otros.

Los potenciales de ahorro de energía son meramente estimados y descansan en muchas suposiciones por lo que los ahorros pueden o no lograrse, ya que en este nivel no se realizan mediciones y apenas se obtiene un conocimiento muy somero de las instalaciones energéticas. Su principal ventaja es dar una idea general sobre si existe o no posibilidad de ahorro energético. Realizar este nivel tiene cierto costo económico, el cual es de menor precio respecto a los de niveles siguientes.

El nivel dos o fundamental, proporciona información sobre el consumo de energía tanto eléctrica como térmica por áreas funcionales o procesos específicos de operación, es decir se detecta los subsistemas de mayor desperdicio energético. Este nivel provee datos acerca del ahorro de energía y en consecuencia de reducción de costos, como consecuencia de su realización se obtiene una cartera de proyectos de aplicación, logrando de esta forma dirigir el camino de las metas para ahorro energético.

Es el más útil para conocer los potenciales de ahorro de energía de una instalación. Estos potenciales se cualifican y se cuantifican. Se analiza entre el 75 y 80 por ciento de los consumidores energéticos, dando prioridad a los de potencia superior y mayor tiempo de utilización.

En la aplicación del diagnóstico, a este nivel, será importante contar con los equipos e instrumentos necesarios para la evaluación de parámetros energéticos que conlleven a determinar los potenciales de ahorro de energía.

Considerado el último, nivel tres, proporciona información precisa y comprensible, de todos y cada uno de los puntos relevantes del diagrama del proceso industrial o cualquier instalación a evaluar, así como las pérdidas de energía de cada uno de los equipos involucrados. Este nivel está caracterizado por instrumentación extensiva, por la adquisición de datos y por los estudios de ingeniería involucrada, se aclara que muchas de las acciones propuestas para lograr ahorro de energía son producto de reingeniería de los procesos.

Este tipo de diagnóstico es llamado microdiagnóstico, ya que se profundiza en el proceso y equipos involucrados en este. Requiere la participación de especialistas particulares para definir aplicaciones complejas. Su costo es mucho mayor al de segundo nivel.

Los niveles de diagnóstico energético no son estrictos, en muchos casos se puede aplicar un estudio a una sola parte o etapa del proceso, debido a estos surgen niveles intermedios, es decir, aquellos que cubren ciertos objetivos y alcances para un área específica de proceso o instalación.

### **1.1.3. Metodología para realizar un diagnóstico energético**

Para llevar a cabo con éxito un diagnóstico energético se deben plantear métodos de evaluación, estrategias y recopilación de datos para obtener una buena evaluación, análisis y factibilidad del ahorro a determinar:

### **1.1.3.1. Elaboración de estrategia de trabajo**

Para la elaboración de la estrategia de trabajo es necesaria la revisión de la información de las condiciones de operación de la industria, así como los diseños de instalación o modificaciones realizadas de los equipos consumidores de energía térmica y eléctrica. También es importante la identificación y selección de los instrumentos que serán utilizados en las mediciones, asegurándose que operen adecuadamente (que proporcionen la información deseada y cuenten con la precisión y exactitud requerida), por último elaborar un cronograma de trabajo en el que se indiquen las fechas en que se reportarán avances al responsable.

Desarrollar una estrategia para analizar los siguientes equipos:

- Intercambiadores de calor
- Bombas
- Calderas
- Enfriadores
- Compresores
- Transformadores
- Motores eléctricos
- Sistemas de iluminación
- Sistema de aire comprimido
- Aire acondicionado
- Procesos, entre otros.

Ya conocidos los procesos y equipos, se identificarán las principales variables de consumo de energía a medir en la empresa, se determinarán los balances de materia y energía mejor aplicables para cada proceso o equipo y

se definirán los métodos de cálculo de las eficiencias energéticas por procesos, sistemas y equipos.

Antes de hacer cálculos es importante conocer los costos de la energía en el país, existen diversos tipos de tarifas para los distintos servicios que se tienen como: servicios de distribución dirigida al usuario final, servicios de transmisión y servicios de generación.

Dentro de los servicios de distribución se presentan varios tipos de tarifas; residencial, general, industrial, bombeo de agua, preferencial, pequeño comercio o industrial, mediana tensión y tarifas horarias, las cuales se detallan en el capítulo 8.

### **1.1.3.2. Recopilación de la información**

Esta es la etapa más importante del trabajo puesto que el éxito del proyecto tendrá como primer antecedente el desarrollo de una ingeniería de campo confiable, la cual tome las cualidades del consumo y cuantifique la distribución de la energía en la industria.

Durante el desarrollo de esta etapa se recopilará la información histórica por empresa y equipos, tales como: consumos de energía eléctrica, combustibles y agua. También se investiga la producción global, por departamentos y tipos de productos; además se deben realizar las mediciones que sean necesarias para la evaluación de los balances de energía en unidades de proceso, sistemas y equipos. Se hará acopio de planos, listados, estadísticas y otros, con los que cuente la empresa.



Ejemplo:

- Diagramas unifilares
- Instalaciones eléctricas de fuerza y alumbrado
- Diagramas de procesos
- Diagramas de líneas de distribución de vapor
- Diagramas de líneas de recuperación de condensados
- Diagramas de los sistemas de manejo de combustibles
- Diagramas de líneas de distribución de aire comprimido
- Listado de los principales equipos
- Características de diseño de los equipos
- Estadísticas de la producción
- Costumbres de operación de la instalación, área, proceso y equipo
- Recibos de cobro de energía eléctrica

Para cada sistema o proceso se recopilará la cantidad de energía interna y externa consumida por unidad de carga procesada (gas, combustible, vapor, energía eléctrica y otros energéticos), es recomendable que la información sea de forma mensual y promedio anual de los dos últimos años con el fin de verificar las tendencias de la industria.

Los levantamientos se realizan de las principales variables energéticas en procesos, sistemas y equipos, tales como:

- Kilowatt
- Kilowatt-hour
- Corriente eléctrica
- Voltaje
- Kilovoltio-amperios reactivos
- Kilovoltio-amperios reactivos-hora

- Factor de potencia
- Temperatura
- Presión
- Composición de gases de combustión
- Humedad
- Velocidad de aire
- Flujo (refrigerante, agua, vapor, aire)

Con lo anterior se podrá evaluar la operación de los equipos y procesos involucrados en la industria.

Esta evaluación permitirá deducir los desperdicios y fugas de energía y agua, uso ineficiente por malas costumbres de operación o desconocimiento de una operación adecuada, equipos viejos, obsoletos y tecnología reemplazable.

En el caso de energía térmica (vapor y combustibles), se emplearán fundamentalmente equipos de medición de flujo másico (pueden ser invasivo o ultrasónico), manómetros para determinar la presión y termopares o equipos infrarrojos para medir la temperatura en los lugares donde sea necesario.

### **1.1.3.3. Evaluación del estado de consumo de energía actual**

Con la información obtenida de las etapas 1.3.3.1 y 1.3.3.2 se procederá a realizar la evaluación del funcionamiento energético de los sistemas y equipos en la industria.

En una primera etapa se analizará el comportamiento histórico del consumo de energía de la empresa y su relación con la producción de la

misma. Así se determinarán los índices energéticos actuales de la empresa (potencia demandada / cantidad de producto fabricado).

Una vez identificadas las áreas, procesos y equipos de mayor consumo energético en la empresa, dichas secciones quedarán como prioritarias para la identificación y obtención de ahorro de energía, ya que el disminuir el consumo de energía en estas áreas será de mayor impacto para la empresa y se verá reflejada directamente en las facturaciones (electricidad, combustibles, entre otros).

#### **1.1.3.4. Determinación del potencial de ahorro de energía**

En esta etapa se determinarán los ahorros en cantidades de energía. En base a lo realizado en la etapa anterior, quedarán determinados los rubros de pérdidas de mayor contribución a escala energética. Para minimizar el consumo de energía se evaluarán los potenciales de ahorro de energía; primero, por la aplicación de medidas administrativas y prácticas operacionales y segundo, por prácticas eficientes y programas de mantenimiento. Se detectarán aquellas actividades que por ajuste a los sistemas y equipos y aplicación de alternativas tecnológicas tiendan a aprovechar adecuadamente la energía.

En las alternativas tecnológicas, se buscará una optimización energética de los sistemas y procesos, a través de la implantación de sistemas automáticos de control; esto siempre y cuando sea factible desde el punto de vista técnico y económico.

#### **1.1.3.5. Análisis de factibilidad técnica para la ejecución de las propuestas de ahorro de energía**

Una vez identificados los potenciales de ahorro, así como las acciones necesarias para llevarlos a cabo, se procederá al análisis técnico, con el personal técnico (o comité formado) que para este fin designe la empresa para de verificar que las acciones mencionadas puedan llevarse a cabo sin afectar la calidad ni la producción o *confort* ya sea por normas o porque el proceso así lo requiera.

#### **1.1.3.6. Evaluación económica**

Para la selección de la tecnología a utilizar es importante efectuar la conversión de las cantidades determinadas como ahorros de energía a su equivalente económico en quetzales y centavos, evaluar los ahorros económicos originados por la mejor calidad de equipos, mayor durabilidad de los mismos y reducción de las operaciones de mantenimiento.

Esta etapa se realizará mediante las siguientes actividades:

- En la primera fase de este punto se contemplan exclusivamente medidas de ajuste y corrección a los sistemas de aire acondicionado, iluminación, bombeo, entre otros, ya que su consumo representa contribuciones económicas relativamente bajas y los resultados son importantes a corto plazo.
- En una segunda fase se evaluará económicamente los ahorros derivados por la incorporación de accesorios para el ahorro de energía.

- En la tercera fase se determinarán los ahorros económicos procedentes de la sustitución de equipos actuales por los de mejor eficiencia energética.
- En la cuarta fase, se cuantificarán económicamente los ahorros derivados de la modernización tecnológica.

Finalmente se desarrollará la evaluación económica de los proyectos, para determinar:

- El tiempo de recuperación simple, por ahorros de energía
- El tiempo de recuperación compuesto, por ahorros totales
- El flujo de dinero de los proyectos de acuerdo a la vida de los equipos, incluyendo ahorros e inversiones
- La Tasa Interna de Retorno (TIR) de las inversiones de cada proyecto
- La relación costo-beneficio de los proyectos

#### **1.1.3.7. Selección de las medidas ahorradoras a implementar**

En esta etapa se realizará la clasificación jerárquica de los proyectos sobre la base del tiempo de recuperación y Tasa Interna de Retorno. El tiempo de recuperación es una medida de liquidez que no percibe la verdadera rentabilidad de los proyectos. La Tasa Interna de Retorno mide la rentabilidad de los proyectos, que puede ser comparada contra la tasa mínima aceptada por la empresa, contra la tasa que generan otros proyectos de inversión y contra el valor del dinero de los mercados financieros.

Un proyecto con un tiempo de retorno de un año, puede ser muy malo si el equipo que se instala dura alrededor de un año, pero si el equipo dura 4 años es mucho mejor.

Entre los proyectos de recuperación se distinguen:

- Inmediatos: aquellos que no requieren inversiones.
  - Eliminación de desperdicios como productos, cambio de hábitos y similares.
  - Reducción del tiempo de funcionamiento del aire acondicionado
  - Aprovechamiento de la luz natural al máximo, apagando los sistemas de iluminación.
  - Reubicación de fotocopiadoras y equipos generadores de calor a zonas separadas de la alta concentración de personal.
  - Limpieza de serpentines, turbinas y filtros de algún sistema.
  - Ajuste de las presiones de succión y descarga de compresores.
  - Adopción de un método de mantenimiento permanente que sea preventivo y predictivo.
  - Ajuste del funcionamiento de válvulas de control de capacidad en compresores refrigerantes.
  
- A corto plazo: son aquellas cuya inversión es mínima y se recupera en menos de dos años.
  - Corrección del factor de potencia.
  - Eliminación de pérdidas y fugas de aire.
  - Instalación de persianas, cortinas o películas altamente reflejantes en cristales.
  - Instalación de un sistema de control eficaz en la distribución de aire acondicionado.
  - Regulación de temperatura del agua de enfriamiento de condensadores.
  - Optimización de torres de enfriamiento.

- Separación de circuitos eléctricos para el control de sistemas de iluminación.
- Redimensionamiento del sistema de bombeo.
- Mediano plazo: son acciones en las cuales la inversión es tal que los beneficios con ahorro de energía permiten un tiempo de recuperación no mayor a 3 años.
  - Cambio de la tarifa eléctrica.
  - Instalación de compresores tornillo en aire comprimido.
  - Aplicación de motores eléctricos de alta eficiencia.
  - Acoplamiento de equipos de iluminación ahorradores de energía.
  - Control y automatización de los sistemas de iluminación.
  - Rediseño de la iluminación.
  - Instalación de variadores de frecuencia en las bombas.
  - Automatización de los sistemas de control y tracción de elevadores.
- Largo plazo: son acciones en las cuales el beneficio por ahorro de energía es importante, sin embargo, la inversión es de una magnitud que ocasiona tiempos de recuperación no menores a 4 años.
  - Cambio de la tarifa eléctrica.
  - Modificación de las computadoras por equipos con consumo eficiente de electricidad.
  - Sustitución de los motores actuales por equipos de alta eficiencia en bombas y elevadores.
  - Modernización tecnológica del equipo generador de aire acondicionado.
  - Implementación de bancos de hielo para aire acondicionado.

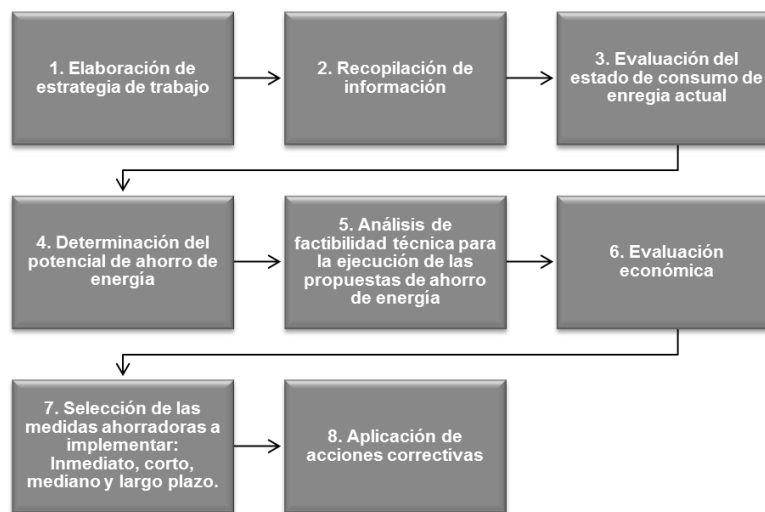
La Tasa Interna de Retorno de las Inversiones se utilizará para señalar los proyectos más rentables, sin importar el tiempo de recuperación.

### 1.1.3.8. Aplicación de acciones correctivas

Finalmente ya determinados los potenciales de ahorro y evaluados desde el punto de vista operativo y económico con las medidas de inversión requeridas para llevar a cabo dicha acción. El paso siguiente es implementar los proyectos que sean más atractivos y que cumplan con las expectativas y políticas de la empresa.

Sin embargo, las medidas de ahorro pueden implementarse de manera paulatina de acuerdo a la cartera de proyectos previamente establecida e inclusive si la industria o empresa ha decidido modernizarse tecnológicamente, las acciones pueden ser a largo plazo; desde luego la planta o proceso productivo será mucho más eficiente y podrá competir en mejor forma ante el mercado nacional e internacional.

Figura 1. **Diagrama de bloques para la elaboración de un diagnóstico energético**



Fuente: elaboración propia.



## **2. OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO**

### **2.1. Sistemas de aire acondicionado**

Un sistema de aire acondicionado es utilizable para fines de *confort* de personal, así como para disipación de calor de en equipos eléctricos y electrónicos en la industria. Este es un punto importante para el análisis de ahorro energético.

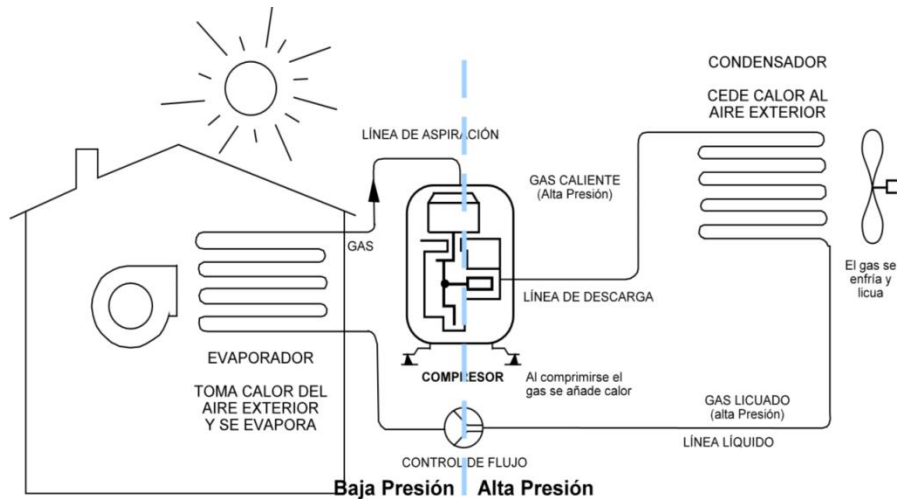
Un sistema básico de refrigeración estará compuesto de los siguientes elementos:

- Compresor
- Condensador
- Elemento de control de flujo
- Evaporador

Estos elementos incorporados en un circuito cerrado que se completa por medio de tuberías de interconexión, permite hacer circular el fluido refrigerante durante el ciclo, de forma continua.

A medida que el refrigerante circula no sufre cambios químicos pero está constantemente cambiando su estado físico. Puede ser líquido, gas o una mezcla de los dos, dependiendo de dónde se encuentra durante el ciclo. Se examina el sistema comenzando desde el compresor (figura 1).

Figura 2. **Ciclo termodinámico**



Fuente: Instalaciones Térmicas Arq. Alejandro Czajkowski.

El compresor recibe el refrigerante en forma de gas por la tubería comúnmente denominada línea de aspiración, lo comprime añadiéndole por tanto más calor y lo impulsa a través de la línea de descarga hacia el Condensador en forma de gas caliente recalentado a alta presión.

Clasificación de algunos sistemas de aire acondicionado:

- Por su misión
  - Para el *comfort*
  - Para procesos industriales
- Por la estación en que actúan
  - Solo invierno
  - Solo verano
  - Todo el año

- Por su instalación
  - Sistemas centralizados
    - Todo Aire
    - Todo Agua
    - Mixtos a dos tubos
    - Mixtos a cuatro tubos
    - Volumen Aire Variable - VAV
    - Volumen Refrigerante Variable - VRV
  - Sistemas unitarios y semicentralizados
    - Unidades de ventana, muro y transportables
    - Unidades autónomas de condensación por aire
    - Unidades autónomas de condensación por agua
    - Unidades tipo consolas de condensación por aire
    - Unidades tipo consolas de condensación por agua
    - Unidades tipo remotas de condensación por aire *Split-system*
    - Unidades autónomas de cubierta, de condensación por aire en el techo

Los sistemas de aire acondicionado, tanto los unitarios como los centralizados, se basan cada vez más en conjuntos totalmente montados y probados en fábrica que incorporan circuitos de refrigeración completos, provistos de la totalidad de elementos y controles necesarios para el manejo, protección y regulación de su funcionamiento.

Estos sistemas de refrigeración se utilizan para enfriar y deshumidificar el aire que se quiere tratar o para enfriar el agua que se envía a las unidades de manejo de aire que se utilizan en una instalación centralizada.

El diseño y funcionamiento de estos sistemas de refrigeración gira alrededor de un fluido refrigerante, al cual mediante una serie de dispositivos se le hace realizar el trabajo fundamental de absorber calor en un lugar, transportarlo y ceder ese calor en otro lugar.

En los sistemas unitarios, autónomos o compactos, se hace pasar el aire que se desea tratar a través del evaporador con lo que se enfría y regula su humedad.

En los sistemas de refrigeración descritos se observa que el calor absorbido por el evaporador es transportado al condensador, siendo necesario en todo caso el disipar del condensador el calor, para conseguir la condensación o licuado del fluido refrigerante, situándolo en condición de volverse a evaporar y de reanudar el ciclo de refrigeración. El medio que se utiliza para disipar el calor del condensador define los dos tipos de diseño más normales:

Condensación por agua:

En la condensación por agua los condensadores suelen ser:

- Tubo en tubo, los cuales están formados por un arrollamiento de dos tubos concéntricos en los que por uno circula el refrigerante y por el otro, en sentido contracorriente, el agua pasa a enfriar el refrigerante.
- Multitubular con envolvente, los cuales están formados por un haz tubular dentro de una envolvente. El agua circula por los tubos y el fluido refrigerante por la envolvente (intercambiador de calor).

Condensación por aire:

En la condensación por aire se utilizan serpentines de tubo aleteado que se refrigeran con el aire exterior, forzado a su través por medio de un ventilador. Existen sistemas de condensación denominados condensadores evaporativos, consistentes en un serpentín aleteado situado en el interior de un recinto por el que circula en sentido contracorriente una cortina de agua y un caudal de aire forzado por un ventilador. Su aplicación es como condensador remoto. La condensación por agua requiere caudales importantes que no suelen estar disponibles, y es un desperdicio la utilización de agua de red para estas aplicaciones por el importante consumo que supone. En ese caso se debe recurrir a la utilización de las denominadas torres de enfriamiento.

## **2.2. Evaluación para ahorro de energía en sistemas de aire acondicionado**

El aire acondicionado representa un buen área de oportunidad para lograr ahorros de energía, para abordar sus potenciales de ahorro energético es preferible dividir esta área en tres etapas:

### **2.2.1. Cargas térmicas externas**

La carga térmica que debe contrarrestar el servicio de aire acondicionado se debe a la existencia de las fuentes de calor como los es la radiación solar, equipos de iluminación, equipos de oficina y calor emitido por las personas entre otros.

### 2.2.1.1. Calor por radiación solar sobre el inmueble

La radiación solar es el flujo de calor que entra en el local a través de las superficies acristaladas en las condiciones de proyecto. La aportación depende de las condiciones de temperatura de rocío, el tipo de vidrio, el color, la altitud y latitud.

Existen tablas ASHRAE (Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración) que sirven como estándar para el cálculo según las condiciones que se requieran.

Se puede representar por la ecuación descrita a continuación:

$$Q_{\text{radiación solar}} = Ma * f * K * S$$

Donde:

Ma: ganancia solar

f: factor de corrección

K: coeficiente de transmisión del cristal

S: superficie del vidrio

El factor de corrección se puede calcular de la siguiente forma:

$$f = Mu * L * Alt * PR * Fa * Fv$$

Donde:

Mu: coeficiente de corrección por el tipo de marco de la ventana

L: coeficiente de corrección por limpieza

Alt: coeficiente de corrección por altitud

PR: coeficiente de corrección por punto de rocío según orientación

Fa: factor de almacenamiento a través del vidrio

Fv: factor de ganancia solar a través del vidrio

Para cálculos aproximados se pueden tomar incrementos de temperatura promedio para las superficies expuestas.

Tabla I. Factores de emisión y absorción de algunas superficies

| Clase | Superficie  | Emitancia Normal Total |              | Absorción de la radiación solar |
|-------|---|------------------------|--------------|---------------------------------|
|       |   | De 10 a 40°C           | A 500°C      |                                 |
| 1     | Un pequeño agujero en una gran caja, esfera, horno, o recinto.  | 0.97 a 0.99            | 0.97 a 0.100 | 0.97 a 0.99                     |
| 2     | Superficies no metálicas negras como el asfalto, carbón, pizarra, pintura, papel                                    | 0.90 a 0.98            | 0.90 a 0.99  | 0.85 a 0.98                     |
| 3     | Ladrillo rojo y azulejos, hormigón y piedra, de acero oxidado y hierro, pinturas oscuras (rojo, marrón, verde, etc) | 0.85 a 0.95            | 0.75 a 0.90  | 0.65 a 0.80                     |
| 4     | Ladrillo y piedra amarillo y beige, ladrillos refractarios, arcilla refractaria                                     | 0.85 a 0.95            | 0.70 a 0.85  | 0.50 a 0.70                     |
| 5     | Ladrillo crema suave o blanco, azulejo, pintura o papel, yeso, cal  | 0.85 a 0.95            | 0.60 a 0.75  | 0.30 a 0.50                     |
| 6     | Vidrio de ventana   | 0.9                    | -            | c                               |
| 7     | Pintura de aluminio brillante, dorado o bronce  | 0.40 a 0.60            | -            | 0.30 a 0.50                     |
| 8     | Latón, cobre, aluminio, acero galvanizado, hierro pulido  | 0.20 a 0.30            | 0.30 a 0.50  | 0.40 a 0.65                     |
| 9     | Latón pulido, cobre, metal monel  | 0.02 a a 0.05          | 0.05 a 0.15  | 0.30 a 0.50                     |
| 10    | Aluminio altamente pulido, placas de estaño, níquel, cromo  | 0.02 a 0.04            | 0.05 a 0.10  | 0.10 a 0.40                     |
| 11    | Superficies selectas  |                        |              |                                 |
|       | →Malla de alambre de acero inoxidable   | 0.23 a 0.28            | -            | 0.63 a 0.86                     |
|       | →Superficie pintada de blanco   | 0.92                   | -            | 0.23 a 0.49                     |
|       | →Cobre tratado con solución de NaClO <sub>2</sub> y NaOH  | 0.13                   | -            | 0.87                            |
|       | →Cobre, níquel y aluminio con revestimiento de CuO  | 0.09 a 0.21            | -            | 0.08 a 0.93                     |

Fuente: ASHRAE 2001 F. Capítulo 3. Tabla 3. p. 48.

### **2.2.1.2. Aporte de calor a través de paredes, ventanas y techos**

Gran parte de la energía solar incidente sobre el inmueble es absorbida por los materiales con que está construido, posteriormente este calor es transmitido al interior del edificio por conducción, convección y radiación. Por ello valorar las temperaturas del exterior, de pared y ventanas es de suma importancia.

La aportación de calor a través de las ventanas puede ser significativa. Existen diversas formas de minimizar esta aportación como son la instalación de persianas, cortinas y películas altamente reflejantes. La reducción de la ganancia de calor por ventanas es posible lograrla con la instalación de una película del tipo Reflectante. En la actualidad existen películas con alto factor solar.

### **2.2.1.3. Calor por los equipos de iluminación**

En cámaras frigoríficas de almacenamiento la carga eléctrica de iluminación suele estar entre 10 y 20 vatios por metro cuadrado. En espacios donde trabaja personal en forma permanente la potencia de iluminación sube bastante dependiendo del tipo de tareas.

Las lámparas incandescentes transforman en luz un 10 por ciento de la energía absorbida, mientras el resto la transforman en calor que se disipa por radiación, convección y conducción. Un 80 por ciento de la potencia absorbida se disipa por radiación, y solo el 10 por ciento restante por convección y conducción.



Los tubos fluorescentes transforman un 25 por ciento de la energía absorbida en luz, mientras que otro 25 por ciento se disipa por radiación hacia las paredes que rodean el local, y el resto por convección y conducción. Debe tenerse en cuenta, además, el calor emitido por la reactancia o resistencia limitadora, que representa un 25 por ciento de la energía absorbida por la lámpara.

Tabla II. **Ganancia de calor por tipo de iluminación**

| <b>Tipo</b>          | <b>Ganancia de Calor Sensible (BTU/HR)</b> |
|----------------------|--|
| <b>Fluorescente</b>  | Potencia útil en vatios x 4,1              |
| <b>Incandescente</b> | Potencia útil en vatios x 3,4              |

Fuente: dato tomado de ACCA (Contratistas de Aire Acondicionado de América).

#### **2.2.1.4. Generación de calor por equipos de oficina**

La aportación calorífica de los equipos de oficina es generada por la disipación de potencia de dispositivos electrónicos, esta se calculará multiplicando la potencia de los diferentes equipos por el coeficiente de conversión de watts a kilocalorías, 0,86.

$$Q_{\text{equipos}} = PC * 0,86$$

Donde:

*PC*: potencia calorífica del equipo

*Q<sub>equipos</sub>*: calor generado por los equipos

### **2.2.1.5. Calor emitido por las personas**

El MET es la unidad de medida del índice metabólico y se define como la cantidad de calor emitido por una persona en posición de sentado por metro cuadrado de piel.

La relación por metro cuadrado de piel permite una aproximación mayor a la media, puesto que las personas de mayor tamaño tienen un menor metabolismo basal. Equivale a 58 vatios por metro cuadrado (en el sistema técnico, 50 kcal/h·m<sup>2</sup>).

Considerando la superficie corporal, la equivalencia es a 58 vatios por metro cuadrado (50 kcal/h·m<sup>2</sup>), lo que significa que un adulto de 1,73 metros cuadrados de superficie corporal gasta al día estando sentado 8 690 kJ (2 076 kcal), siempre en el supuesto que se pase el día sentado.

### **2.2.2. Equipos para aire acondicionado**

La siguiente tabla presenta una serie de comparaciones genéricas, válidas desde el punto de vista de este texto, no deben tomarse como válidas para todos los equipos de una misma línea, seguramente pueden encontrarse equipos con mejores características a las mencionadas, pero también seguro habrá otros con cualidades muy inferiores.

Tabla III. Comparaciones genéricas

| Tipo de equipo   | Aplicaciones  | Ventajas   | Desventajas  |
|--|---|--|--|
| <b>Ventana</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuartos individuales</li> <li>• Recámaras</li> <li>• Usos esporádicos</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Económicos</li> <li>• No requiere ductos</li> <li>• Acondicionamiento individual</li> <li>• Algunos cuentan con control de temperatura</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Son ruidosos</li> <li>• Mayor consumo de energía</li> <li>• Para una gran instalación sería costosa su operación</li> <li>• Mayor mantenimiento con mayor usos</li> </ul>   |
| <b>Mini Split</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuartos individuales</li> <li>• Recámaras</li> <li>• Salas y comedores</li> <li>• Oficinas pequeñas</li> <li>• Usos esporádicos</li> <li>• Bibliotecas</li> <li>• Salas de juntas</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acondicionamiento individual</li> <li>• No requiere ductos</li> <li>• Mayor sensación de confort</li> <li>• Operación silenciosa</li> <li>• Cuentan con temporizador</li> <li>• Son programables</li> <li>• Amplia gama de modelos</li> <li>• Cuentan con control de temperatura</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo de compra</li> <li>• Mayor consumo de energía</li> <li>• Para una gran instalación sería costosa su operación</li> <li>• Requieren espacio adicional para el condensador</li> <li>• Una mala ubicación del condensador incrementa el consumo de energía</li> <li>• No incluyen un retorno de aire al exterior</li> <li>• No ayudan a la ventilación</li> <li>• No es adecuado para lugares donde se vicia el aire.</li> </ul>   |
| <b>Unidades de Paquete</b>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oficinas</li> <li>• Una vivienda completa</li> <li>• Laboratorios no controlados</li> <li>• Centros comerciales</li> <li>• Edificios pequeños y medianos</li> <li>• Bibliotecas</li> <li>• Escuelas</li> <li>• Salas de juntas</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acondicionamiento para varias áreas</li> <li>• Menor consumo de energía que el equivalente de equipos ventana y Mini Split</li> <li>• Acondicionamiento a zonas más grandes</li> <li>• Mayor capacidad en un sólo equipo</li> <li>• Amplia gama de modelos</li> <li>• Pueden automatizarse</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo de compra</li> <li>• Requiere ductos de inyección y retorno</li> <li>• Mayor mantenimiento</li> <li>• Es compleja la lógica de control en ductos</li> <li>• Una mala ubicación del condensador incrementa el consumo de energía</li> <li>• Desperdicio de energía en malas instalaciones</li> <li>• Los ductos de inyección deben ir aislados</li> </ul>  |
| <b>Sistemas centrales con generadores de agua helada</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes consumidores de aire acondicionado</li> <li>• Industrias</li> <li>• Laboratorios controlados</li> <li>• Centros comerciales</li> <li>• Edificios pequeños, medianos y grandes</li> <li>• Bibliotecas</li> <li>• Escuelas</li> <li>• Hoteles</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acondicionamiento para varias áreas</li> <li>• Menor consumo de energía que el equivalente de equipos ventana, Mini Split y paquetes</li> <li>• Acondicionamiento a zonas más grandes</li> <li>• Mayor capacidad en un sólo equipo</li> <li>• Amplia gama de tamaños</li> <li>• Pueden automatizarse</li> <li>• En versiones de volumen variable permite un óptimo control de su operación</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo de compra y de inversión del todo el sistema</li> <li>• Requiere bombas, tuberías, manejadoras de aire, válvulas, sistemas control, ductos de inyección y retorno</li> <li>• Requiere de bombas y tubería para el agua de condensación</li> <li>• Se requiere de especialistas para automatizar su operación</li> <li>• Una mala ubicación del condensador incrementa el consumo de energía</li> <li>• Desperdicio de energía en instalaciones NO automatizada</li> <li>• Mayor mantenimiento</li> <li>• En los enfriados por agua, el costo de la misma puede ser significativo</li> </ul> |

Fuente: módulo promotor de eficiencia energética aire acondicionado, p. 21.

### 2.2.3. Cálculo de capacidad de aire acondicionado para un recinto

Como bien se conoce, un aire acondicionado es un aparato electrónico que enfría un recinto cerrado (podría también calentarlo), y conviene saber que la capacidad de un aire acondicionado viene dado en BTU/hora (sistema inglés), frigoría/hora, tonelada de refrigeración/hora, aunque muy comúnmente se suele decir que viene en BTU's.

Se observan las conversiones:

1 Frigoría (o kilocaloría) = 4 BTU

12 000 BTU = 1 tonelada de refrigeración

1 kCal = 3 967 BTU

1 kCal/h = 3 967 BTU/h

1 kW = 860 kCal/h

1 HP = 642 kCal/h

Ahora bien, ¿cómo se calcula la capacidad del aire que se necesita para un recinto?, la respuesta es que hay muchos métodos para dicho cálculo, un método sencillo es el siguiente:

$$\text{Capacidad AC} = (\text{Volumen}_{\text{Recinto}} * 50) + (\text{Número}_{\text{Personas}} * 150) + (\text{Watts}_{\text{Aparatos}} * 0,86) [\text{Frigoría/Hora}]$$

Si se quisiera hacer un cálculo más completo, se calcularía realizando la suma del calor latente y calor sensible de todas las cargas térmicas descritas en este capítulo 2 inciso 2.1.1 al 2.1.5 en dimensionales que sean más cómodas para convertirlas a BTU/hora.

### 2.3. Zona de *confort*

Los efectos del medio ambiente inciden directamente sobre el hombre a través de los parámetros térmicos, acústicos y lumínicos; sumado a estos, los factores de *confort* físico, biológico-fisiológico, sociológico y psicológico. El cuerpo humano puede absorberlos o percibir sus efectos, esforzándose para llegar a un punto de equilibrio, adaptándose a su entorno a punto que solamente requiera un mínimo de energía. Las condiciones bajo las cuales consigue este objetivo se definen como zona de *confort*.

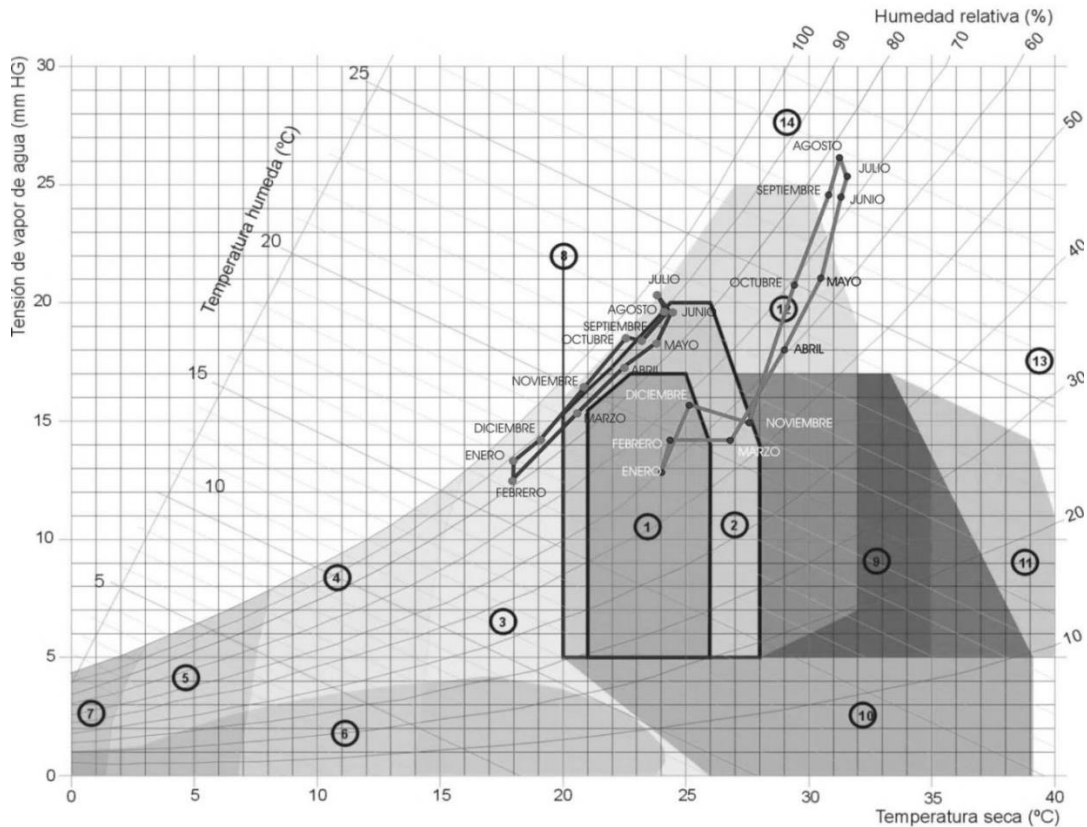
Baruch Givoni es un arquitecto israelí. En la actualidad uno de los especialistas en arquitectura bioclimática más reconocidos del mundo. Principalmente a partir de la publicación en 1969 por la prestigiosa editorial Elsevier del libro *Man, Climate and Architecture* (Hombre, clima y arquitectura).

Plantea un carta bioclimática para el área de Israel, pero fuera de estas zonas se vuelve necesario el uso de sistemas termomecánicos de acondicionamiento ambiental sea para calefacción como para refrigeración.

Su trabajo fue principalmente dirigido para hombres y mujeres caucásicos en clima moderado. En función de esto, a mediados de los años `70 visita Brasil y elabora un climograma corregido para zonas tropicales y subtropicales.

Su modelo permite, mediante la inserción en el climograma de valores de temperatura y humedad medios mensuales, trazar las características bioclimáticas de un sitio. Pero más importante es, que de su interpretación, sugiere estrategias de diseño con el cual resolver un proyecto edilicio a fin de mantenerlo en confort sin uso de energía adicional a la del sol, el viento, las temperaturas día - noche y la humedad ambiente.

Figura 3. Carta bioclimática de Givoni para la ciudad de Veracruz, México



- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1 Zona de confort                    | 8 Protección solar  |
| 2 Zona de confort permisible         | 9 Refrigeración por alta masa térmica                           |
| 3 Calefacción por ganancias internas | 10 Enfriamiento por evaporación                                 |
| 4 Calefacción solar pasiva           | 11 Refrigeración por alta masa térmica con ventilación nocturna |
| 5 Calefacción solar activa           | 12 Refrigeración por ventilación natural y mecánica             |
| 6 Humidificación                     | 13 Aire acondicionado   |
| 7 Calefacción convencional           | 14 deshumidificación convencional                               |

Fuente: [http://www.arqdanielnava.com/2010\\_11\\_01\\_archive.html](http://www.arqdanielnava.com/2010_11_01_archive.html). Consulta: 21 de diciembre 2013.

## 2.4. Ejemplo para ahorro en A/C

En una oficina de 7 metros de ancho por 7 metros de largo por 2,5 de alto, se requiere un A/C para *confort*. En esta se encuentran 2 personas trabajando,

con 2 luminarias las cuales poseen 4 tubos fluorescentes de 35 watts cada una, una cafetera de 1 090 watts y 2 computadores los cuales consumen 500 watts cada uno. Dimensione la capacidad del A/C a instalar y especifique los puntos de ahorro:

Se sabe que:

$$\text{Capacidad AC} = (\text{Volumen}_{\text{Recinto}} * 50) + (\text{Número}_{\text{Personas}} * 150) + (\text{Watts}_{\text{Aparatos}} * 0,86) \text{ [Frigoría/Hora]}$$

$$\text{Capacidad AC} = (7*7*50) + (2*150) + ((4*35*2+1090+2*500)* 0.86) = 2\ 038,2 \text{ [Frigorías/Hora]} = 10\ 902,8 \text{ BTU} = 0,91 \text{ Ton de refrigeración}$$

Se puede decir que es necesario 1 tonelada de refrigeración para este recinto, con lo cual se observa el primer paso para obtener un ahorro en consumo de energía eléctrica (dimensionamiento de un equipo). Pero se necesita decidir qué tipo de unidad se va a instalar, para este ejemplo se observa que es un recinto individual, por lo cual debería instalarse un Tipo Ventana o un *Mini Split*. Debido al avance de las tecnologías se sugiere un *Mini Split* ya que posee un mejor índice de eficiencia (según algunos fabricantes) y es menos ruidoso.

Para ampliar la eficiencia en el uso de este aparato y obtener un ahorro de energía, se debe proceder a los niveles siguientes en un diagnóstico energético, como lo es:

- Aporte de calor en techo, ventanas y paredes
- Orientación de las ventanas hacia el sol para aplicación de polarizados
- Generación de calor por otros equipos
- Cargas térmicas externas

La característica fundamental de los equipos de aire acondicionado para determinar su eficiencia energética viene determinada por el coeficiente EER, siglas del término inglés *Energy Efficiency Ratio*, es el índice de eficiencia energética de una máquina frigorífica en la modalidad de refrigeración y expresa la relación entre la potencia frigorífica total que genera el equipo y la potencia eléctrica consumida. Un EER con un valor de 1 significa que por cada unidad de energía utilizada se produce una unidad de energía, un EER 5, quiere decir que el equipo produce cinco veces más energía que la electricidad que consume. Cuanto mayor sean estos valores de EER mayor será la eficiencia energética del equipo.



### **3. OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES DE INDUCCIÓN**

#### **3.1. Motores eléctricos en la industria**

Los motores eléctricos son los usuarios de mayor consumo de energía eléctrica en plantas industriales. Aproximadamente entre el 60 y 70 por ciento del consumo de energía eléctrica de una industria corresponde a equipos electromotrices tales como ventiladores, bombas, compresores, bandas transportadoras, entre otros.

Es evidente el gran impacto de los motores eléctricos en el consumo de energía en el sector industrial, por tanto, resalta la importancia de identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía en ellos. Sin embargo, es necesario determinar con precisión el estado energético actual de los mismos (factor de carga, eficiencia, factor de potencia, antigüedad), y conocer sistemas alternativos como son motores de alta eficiencia y variadores de frecuencia entre otros.

Otras alternativas de ahorro en motores son:

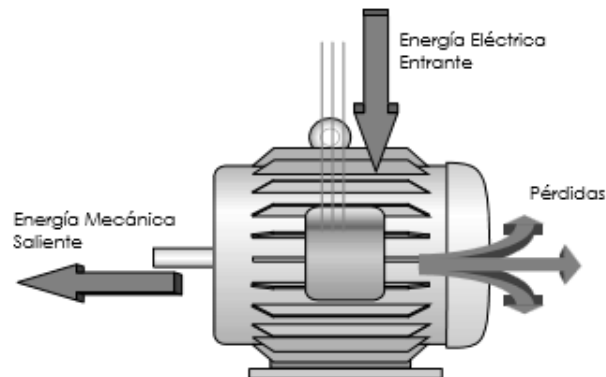
- La reubicación de motores procurando aprovechar al máximo la eficiencia. El factor de carga óptimo para motores estándar se ubica en un rango del 65 al 85 por ciento, de tal manera que los motores que se encuentren más lejos de este rango son candidatos a ser aprovechados en otros puntos de aplicación, donde operen en mejor forma.

- Mejorar sus condiciones de alimentación eléctrica, como son el desbalanceo de fases, las variaciones de voltaje, los sistemas sin tierra o mal aterrizados y el bajo factor de potencia.
- Correcto dimensionamiento del motor para el trabajo que va a realizar.

### 3.2. Pérdidas de energía

La función de un motor eléctrico es convertir la energía eléctrica en energía mecánica para realizar un trabajo útil. En la transformación una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituyendo una pérdida inherente al motor, ver figura 6.

Figura 4. **Pérdidas en un motor eléctrico**



Fuente: Módulo IV de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala)

Las pérdidas de un motor de inducción, pueden ser desglosadas en 5 principales áreas, cada una de éstas depende del diseño y construcción del motor:

- Pérdidas de estator (efecto Joule  $I^2 * R$ )
- Pérdidas de entrehierro (histéresis y corrientes de Eddy)
- Pérdidas del rotor (efecto Joule  $I^2 * R$ )
- Pérdidas mecánicas (fricción y ventilación)
- Pérdidas extras (escobillas en rotor devanado y *Stray Load Losses* que se dan por armónicos de flujo bajo carga)

Estas pérdidas se clasifican en aquellas que ocurren cuando el motor esta energizado y permanecen para un voltaje y velocidad dados y las que se dan en función de la carga del motor.

$$P_{Totales} = P_{Efecto\ Joule} + P_{Histéresis\ y\ corrientes\ parasitas} + P_{Mecánicas} + P_{Extras}$$

Donde:

P = pérdidas

### 3.3. Eficiencia

La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Este es el concepto más importante desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico. La eficiencia se puede expresar de las siguientes maneras:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ mecánica\ de\ salida}{Potencia\ eléctrica\ que\ entra}$$

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ eléctrica\ que\ entra - Pérdidas}{Potencia\ eléctrica\ que\ entra}$$

El valor más alto de eficiencia sería la unidad, si acaso las pérdidas fueran cero como lo indica la segunda expresión. Por ello los fabricantes de motores están haciendo innovaciones tecnológicas tendientes a disminuir las pérdidas al máximo posible y lo están logrando con un diseño mejorado empleando materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación.

Conforme la eficiencia pueden considerarse tres géneros de motores eléctricos:

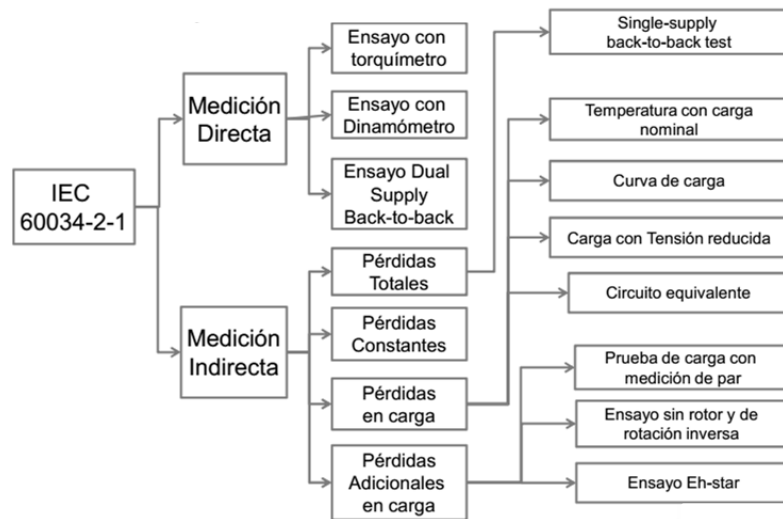
- Motores de eficiencia estándar
- Motores de alta eficiencia
- Motores de eficiencia *premium*

Los motores estándar no consideran la eficiencia como la principal cualidad, más bien privilegian la funcionalidad y precio, prácticamente los motores con más de 15 años podrían considerarse de eficiencia estándar.

El concepto alta eficiencia surge en la década de los años noventa, como consecuencia de contrarrestar los altos precios de la energía y por la necesidad ya existente de hacer un uso eficiente y racional de la energía.

La innovación de los *premium* se da en la actual década con la pretensión de elevar aún más la eficiencia de los motores eléctricos, para ellos se ha perfeccionado el proceso de manufactura y se utilizan materiales superiores, ello acarrea que el diferencial en precio sea también más elevado.

Figura 5. **Ensayos de eficiencia de motores de inducción según norma europea IEC 60034-2-1**



Fuente: IEC 60034-2-1.

### 3.4. Factor de carga

La potencia nominal de un motor eléctrico indica la potencia mecánica de salida o en el eje que es capaz de entregar el motor, el factor de carga es un índice que indica la potencia que entrega el motor cuando se encuentra ya en operación con relación a la que puede entregar. Así un motor de potencia nominal 40 caballos de fuerza que trabaja entregando sólo 20 caballos de fuerza estará trabajando al 50 por ciento.

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Potencia real entregada}}{\text{Potencia de placa del motor}}$$

### **3.5. Factor de servicio**

El factor de servicio es un indicador de la capacidad de sobrecarga que puede soportar un motor eléctrico, como ejemplo el valor de 1,1 significa que el motor puede trabajar al 110 por ciento; sin embargo esto no quiere decir que tenga que trabajar continuamente a ese valor, el factor de servicio debe entenderse como una capacidad adicional que posiblemente se llegue a ocupar en muy raras ocasiones, de hecho los motores sobrecargados reciben mayor corriente eléctrica que la nominal, calentándose en mayor medida y reduciendo notablemente su vida útil, además de bajar la eficiencia de su operación.

Potencia máxima en sobrecarga = Factor de Servicio x Potencia del Motor

### **3.6. Potencia adecuada del motor**

En virtud de que la mayoría de los motores eléctricos presentan su mayor eficiencia al 75 por ciento de factor de carga (cuando la energía que consume es similar a la que entrega, esto es para motores estándar del 65% al 85%), es conveniente que la elección de la potencia de un motor sea para que este trabaje al 75 por ciento de carga. Así trabajará en el rango de alta eficiencia y tendrá un 25 por ciento de capacidad adicional para soportar mayores cargas de trabajo, evitando también el sobrecalentamiento del motor.

La potencia del motor eléctrico la determina el equipo acoplado, que la indica en BHP, *Brake Horse Power* o caballo de potencia en la flecha; se supone que tenemos un ventilador que indica que la potencia que debe recibir es 15 BHP, la potencia de motor que se debe acoplar a este ventilador debe ser:

$$\text{Potencia del motor} = \frac{\text{Potencia de flecha (BHP)}}{0.75} = \frac{15\text{BHP}}{0.75} = 20\text{HP}$$

### 3.7. El par en motores de inducción

Existen varios tipos de motores, cada uno con características particulares que permiten obtener un servicio específico y particular, el par es uno de los factores que los caracteriza.

El término par del motor se refiere al torque desarrollado por éste. El par motor se expresa y se mide en Newton por metro (Nm); un par de 20 Newton por metro, es igual al esfuerzo de tracción de 20 Newton, aplicado a un radio de un metro.

Por otro lado, la potencia puede ser calculada si se conoce el torque requerido por el equipo, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{HP} = \frac{\text{Torque (Nm)} \times \text{RPM}}{K}$$

Siendo: K es constante, igual a 7,124 sí T está en Nm; y 5,250 sí T esta libra-pie.

### 3.8. Pares del motor (torques)

Par a plena carga: el par a plena carga es el necesario para producir la potencia de diseño a la velocidad de plena carga. El par a plena carga de un motor es a la vez base de referencia, el par de arranque y el par máximo se comparan con él y se expresan en la forma de un cierto porcentaje del par a plena carga.

Par de arranque: el par de arranque o a rotor bloqueado es el torque que el motor desarrolla cuando deja de estar parado. Este es proporcional al cuadrado de la corriente.

Par máximo: es el máximo torque que desarrolla el motor, es usualmente expresado como un porcentaje del torque a plena carga. El par máximo de los motores ordinarios varía entre 1.5 y 3 veces del par de plena carga.

### 3.9. Deslizamiento

Se le llama deslizamiento  $S$ , a la diferencia entre la velocidad de sincronismo  $n_s$  y la del rotor  $n$  (próxima a la de sincronismo), expresada en porcentaje de la velocidad de sincronismo:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100$$

Conociendo las RPM de operación del motor, el deslizamiento se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Deslizamiento} = (\text{RPM síncronas} - \text{RPM medidas})$$

Ahora se puede estimar la carga del motor y la eficiencia a partir del deslizamiento:

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Deslizamiento}}{\text{RPM síncronas} - \text{RPM de placa}}$$

Este método para calcular el factor de carga y eficiencia del motor no debe ser utilizado con motores re-embobinados o que no operen al voltaje de diseño. Sólo cuando se realicen los ajustes en la eficiencia necesaria.



La potencia de salida o al eje del motor se obtiene de la siguiente ecuación:

Potencia de salida o en la flecha = factor de carga x potencia de placa

Por último, la eficiencia se determina como:

$$\text{Eficiencia del motor} = \frac{\text{potencia de salida}}{\text{potencia demandada}}$$

$$\text{Eficiencia del motor} = \frac{0,746 \times \text{HP de salida}}{\text{kW demandado}}$$

### 3.10. Ejemplo para ahorro en motores de inducción

Se requiere dimensionar la potencia de un motor de inducción estándar para una bomba centrífuga de 500 galones por minuto, a una presión de 200 libras por pulgadas cuadradas en la descarga. La eficiencia de la bomba según el fabricante es de 75 por ciento.

$$\text{Potencia hidráulica (Hp)} = \text{caudal (gpm)} * \text{Presión (psi)} / 1\,714 \quad (\text{Factor de conversión para el agua})$$

$$\text{Potencia hidráulica} = 500 * 200 / 1\,714 = 58,34\text{hp}$$

Potencia al eje = potencia hidráulica / eficiencia de la bomba

$$\text{Potencia al eje} = 58,34 / 0,75 = 77,79\text{h}$$

Potencia del motor = potencia al eje / eficiencia del motor con el factor de carga óptimo (65 - 85% en motor estándar, utilizaremos 75%)

$$\text{Potencia del motor} = 77,79\text{hp} / 0,75 = 103,72\text{hp} \gg 100\text{hp}$$

Este es el primer paso para verificación en el ahorro de energía en un motor de inducción, además de esto, se podría verificar el desbalance de fases, las variaciones de voltaje, los sistemas sin tierra o mal aterrizados y el bajo factor de potencia.

#### **4. OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN**

Una luminaria es aquel aparato compuesto por un gabinete o armadura de metal que sirve para repartir, filtrar la iluminación a través de un reflector y accesorios necesarios para fijar, proteger y conectar la lámpara al circuito de alimentación eléctrica, junto con éste, va incluido un refractor que tiene como finalidad proporcionar la mejor distribución luminosa de una fuente de luz artificial.

Los componentes de un equipo de iluminación son:

- Luminarias
- Lámparas
- Balastros

La selección de luminarias depende del uso que se dará a la iluminación, existen luminarias especiales para altas concentraciones de la luz, existen otras para las cuales el mayor aprovechamiento luminoso se da hacia el frente de donde están colocadas, las hay con amplia o cerrada curva de distribución y también se diseñan para diferentes alturas de montaje.

Una mala selección de luminarias llevará inevitablemente a malas condiciones luminosas, evidenciándose en bajos niveles de iluminación y en una iluminación no uniforme. Esto conducirá a un grave cansancio y fatiga visual de los usuarios de la iluminación, lo que los hará menos productivos y con ansiedad de terminar a la brevedad las labores realizadas.

#### 4.1. Magnitudes luminotécnicas y su relación

Las principales magnitudes y unidades empleadas en el estudio y acondicionamiento de la iluminación en los puestos de trabajo que se utilizan en las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación son:

Tabla IV. Magnitudes luminotécnicas

| Magnitud             | Unidad                 | Símbolo |
|----------------------|------------------------|---------|
| Flujo luminoso       | Lumen                  | $\phi$  |
| Intensidad luminosa  | Candela                | I       |
| Nivel de iluminación | Lux                    | E       |
| Luminancia           | Candela/m <sup>2</sup> | L       |

Fuente: GARCIA SANZ, María Peñahora. *Iluminación en puestos de trabajo, criterios para su evaluación y acondicionamiento*. p 97.

##### 4.1.1. Flujo luminoso

Teniendo en cuenta que la luz es la radiación visible apreciada de acuerdo con la sensibilidad del ojo humano, el flujo luminoso se define como la cantidad de energía luminosa radiada por una fuente en cada segundo. Es decir, el flujo luminoso es la potencia de la energía luminosa radiada por la fuente.

La unidad del flujo luminoso es el lumen, el cual corresponde a una potencia de 1/680 vatios emitidos a la longitud de onda de 555 nanómetros, que es donde el ojo humano presenta la máxima sensibilidad.

Una aplicación importante de estos conceptos consiste en la expresión del rendimiento luminoso de las lámparas (su eficiencia energética). De toda la potencia eléctrica consumida por una lámpara tan sólo una fracción se convierte en flujo luminoso. El rendimiento luminoso de una lámpara es la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia eléctrica en vatios consumida por la misma:

$$\mu = \phi/w \text{ (Lúmenes/watt)}$$

#### **4.1.2. Nivel de iluminación o iluminancia**

Se denomina nivel de iluminación o iluminancia, al flujo luminoso incidente por unidad de superficie. Su unidad es el lux.

Un lux se define como el nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado cuando sobre ella incide, uniformemente repartido, un flujo luminoso de un lumen.

$$E = \phi/s$$

El nivel de iluminación es la magnitud utilizada con mayor frecuencia para evaluar la cantidad de luz existente en los puestos de trabajo. Para ello, se toman como referencia las tablas de niveles de iluminación existentes para distintos tipos de actividades.

Tabla V. **Niveles de iluminación para áreas de trabajo**

| TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO   | ÁREA DE TRABAJO  | NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN (LUX) |
|--|--|--------------------------------------|
| En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.   | Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos.   | 20                                   |
| En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.   | Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia. | 50                                   |
| Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.  | Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.                                     | 200                                  |
| Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.  | Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.   | 300                                  |
| Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio. | Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.  | 500                                  |
| Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.                         | Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, y laboratorios de control de calidad.   | 750                                  |
| Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas y acabado con pulidos finos.  | Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino.  | 1,000                                |
| Alto grado de especialización en la distinción de detalles.  | Áreas de proceso de gran exactitud.  | 2,000                                |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

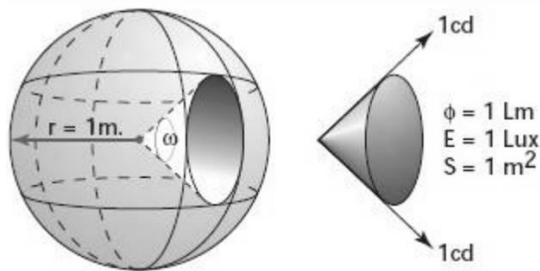
#### 4.1.3. Intensidad luminosa

La intensidad luminosa de una fuente de luz sólo se puede expresar referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido.

El ángulo sólido, se puede imaginar como el espacio contenido dentro de un cono (este sería el caso de un haz de luz). El ángulo sólido, se expresa en

estereorradianes. Si se imagina una esfera de un metro de radio y desde su centro se traza un cono que delimite en su superficie un casquete esférico de un metro cuadrado, el valor del ángulo sólido determinado por dicho cono es igual a un estereorradián.

Figura 6. **Ángulo  $\omega$  del nivel de iluminación (candela)**



$$\omega = 4\pi \text{ estereorradianes}$$

Fuente: GARCÍA SANZ, María Peñahora. *Iluminación en puestos de trabajo, criterios para su evaluación y acondicionamiento.* p 115.

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes:

$$I = \phi / \omega$$

Donde:

I: intensidad luminosa expresada en candelas

$\phi$ : flujo luminoso contenido en el ángulo sólido, en lúmenes

$\omega$ : ángulo sólido en estereorradianes

#### **4.1.4. Luminancia**

La luminancia, o brillo fotométrico, es la magnitud que sirve para expresar el brillo de las fuentes de luz o de los objetos iluminados y es la que determina la sensación visual producida por dichos objetos. Esta magnitud es de gran importancia para evaluar el grado de deslumbramiento, como se verá más adelante.

Se define como la intensidad luminosa por unidad de superficie aparente de una fuente de luz primaria (que produce la luz) o secundaria (que refleja la luz). Ésta se puede expresar en candelas/m<sup>2</sup> o en candelas/cm<sup>2</sup> (una candela/cm<sup>2</sup> = 104 candelas/m<sup>2</sup>).

En el caso de que la línea de visión sea perpendicular a la superficie de la fuente luminosa, la luminancia observada en esa dirección será:

$$L = I * S$$

Donde:

I: intensidad luminosa de la fuente en la dirección considerada (en cd)

S: superficie

#### **4.2. Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia**

Esta ley dice que el nivel de iluminación, proporcionado por una fuente luz en una dirección determinada, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la que se encuentra la fuente respecto al plano considerado, por ejemplo, el plano de trabajo.



$$E = I / d^2$$

Donde:

I: intensidad luminosa de la fuente en la dirección considerada (en cd)

d: distancia de la fuente respecto al plano considerado (en metros)

#### **4.3. Elementos para ahorro en sistemas de iluminación**

Estos elementos de los sistemas de iluminación que a continuación se describen, permiten verificar las condiciones para hacerlo más eficiente. Estos están basados en un nivel uno de o básico de diagnóstico para determinar ahorro de energía eléctrica.

Entre los que hay que analizar se encuentran:

- Los colores claros permiten mayor reflexión en techos, paredes y pisos.
- Que el tipo de lámpara sea la adecuada para la altura de montaje.
- El estado de las luminarias; en cuanto se aprovecha el flujo luminoso de las lámparas.
- Si el nivel de iluminación actual cumple con los recomendados para cada actividad en particular.
- El control de encendido y apagado, individual y/o general.
- El tipo de luminaria, si su diseño es acorde con el local y las tareas que en él se realizan.
- El tipo de lámparas y balastos, de qué tipo de tecnología son y en qué color de lámpara se utilizan.
- El tipo de difusor, si esta amarillento, corroído, entre otros.

Tabla VI. **Reflexión aproximada**

| Tono      | Color        | % de reflexion |
|-----------|--------------|----------------|
| Muy claro | Blanco nuevo | 88%            |
|           | Blanco viejo | 76%            |
|           | Azul verde   | 76%            |
|           | Crema        | 81%            |
|           | Azul         | 65%            |
|           | Miel         | 76%            |
|           | Gris         | 83%            |
| Claro     | Azul verde   | 72%            |
|           | Crema        | 79%            |
|           | Azul         | 55%            |
|           | Miel         | 70%            |
|           | Gris         | 73%            |
| Mediano   | Azul verde   | 54%            |
|           | Amarillo     | 65%            |
|           | Miel         | 63%            |
|           | Gris         | 61%            |
| Obscuro   | Azul         | 8%             |
|           | Amarillo     | 50%            |
|           | Café         | 10%            |
|           | Gris         | 25%            |
|           | Verde        | 7%             |
|           | Negro        | 3%             |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.3.1. **Reflectores especulares**

Los reflectores especulares pueden ser una buena alternativa de ahorro, si se utilizan de forma adecuada y no como una receta de cocina, ya que las consecuencias de un uso inadecuado pueden ser nefastas, tales como una disminución significativa en los niveles de iluminación. En el reflector especular la luz se refleja en un paraboloide, si este está mal dimensionado, dañado,

abollado o mal direccionado, no se obtendrá el nivel de iluminación deseado. Éste utiliza toda la iluminación de un tubo fluorescente para direccionarlo a un punto.

Los reflectores especulares son fabricados con una variedad de materiales para diferentes aplicaciones:

- Película de plata especular - reflectancia especular mínima de 94 por ciento.
- Película de aluminio - reflectancia especular mínima de 85 por ciento.
- Aluminio pulido - reflectancia especular mínima de 82 por ciento.

#### **4.3.2. Dispositivos sencillos de control automático**

Dentro de ellos se encuentran los sensores de presencia, relojes (temporizadores o timers), fotoceldas y otros. Estos dispositivos pueden ser utilizados de manera individual o en conjunto.

##### **4.3.2.1. Relevadores de temporización**

La forma más fácil de programación es utilizando unidades de tiempo. Su aplicación más sencilla es la de encender o apagar a una hora determinada diversas cargas como aire acondicionado y en sistemas de iluminación para exteriores. Los hay electrónicos que utilizan circuitos integrados y alta precisión que incorporan funciones como calendarios y ajustes astronómicos para 365 días.

Este tipo de dispositivos controlan la energía de los circuitos por medio de relevadores. Algunos tienen la posibilidad de manejar dos o más relevadores

con diferentes horarios, por lo general, tienen una batería de respaldo por si falla el suministro de energía eléctrica.

#### **4.3.2.2. Sensores de presencia**

Este tipo de dispositivos fue desarrollado en un principio para la industria de la seguridad, ya que son de alta fiabilidad en la detección de personas en el lugar de su instalación.

Los controles para iluminación ofrecen un ahorro potencial, igual o mayor que los luminarios y lámparas eficientes. Una estimación conservadora, sugiere que puede existir un ahorro del 30 por ciento en el consumo de un edificio comercial, utilizando una estrategia de control adecuada.

Las lámparas y luminarios eficientes, pueden reducir la potencia del sistema de iluminación; mientras que los controles, pueden reducir el tiempo de uso de esa potencia.

Los modelos más eficientes requieren que el usuario encienda las luces en el área controlada, mientras que la función de apagado es automática.

#### **4.3.2.3. Fotosensores o fotoceldas**

Estos dispositivos censan el nivel de iluminancia y generan una señal proporcional a éste que se procesa en la unidad de control, para después mandar una señal a los interruptores o dispositivos de atenuación. Lo anterior permite tener un ajuste del nivel de iluminancia de acuerdo a las condiciones que perciba el control.

La ubicación de los fotosensores es un aspecto crítico que determina la correcta operación del sistema de control, por lo que el diseñador deberá decidir si se controla el nivel de iluminancia en el plano de trabajo o el de la fuente de luz natural.

#### **4.4. Tipos de lámparas**

En el mercado existen varios tipos de lámparas, las cuales se pueden utilizar en un sistema de iluminación, pero siempre hay que analizar cuál de ellas se adecuan al ambiente de trabajo y ahorro que deseamos obtener.

##### **4.4.1. Lámparas incandescentes**

A través de un filamento metálico de cierta resistencia eléctrica (frecuentemente tungsteno, alojado al vacío dentro de una ampollita de vidrio en la atmósfera de un gas inerte), se hace pasar corriente eléctrica, lo que produce que el filamento llegue a un punto de incandescencia emitiendo así radiaciones luminosas y caloríficas. Las radiaciones electromagnéticas emitidas por una lámpara incandescente son 90 a 95 por ciento infrarrojas y 10 por ciento a 5 por ciento visibles, esto las convierte como buenas fuentes de calor.

Tabla VII. **Datos de lámparas incandescentes**

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas | DEPRECIACIÓN<br>LUMINOSA |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|
| 10               | 78                           | 7,8               | 1 000         | 90,0%                    |
| 15               | 120                          | 8,0               | 1 000         | 90,0%                    |
| 25               | 250                          | 10,0              | 1 000         | 90,0%                    |
| 40               | 415                          | 10,4              | 1 000         | 87,5%                    |
| 50               | 440                          | 8,8               | 1 000         | 90,0%                    |
| 60               | 675                          | 11,3              | 1 000         | 93,0%                    |
| 75               | 1 090                        | 14,5              | 1 000         | 92,0%                    |
| 100              | 1 410                        | 14,1              | 1 000         | 90,5%                    |
| 150              | 2 200                        | 14,7              | 1 000         | 89,5%                    |
| 200              | 3 250                        | 16,3              | 1 000         | 90,0%                    |
| 300              | 5 290                        | 17,6              | 1 000         | 89,0%                    |
| 500              | 10 100                       | 20,2              | 1 000         | 89,0%                    |
| 1 000            | 19 500                       | 19,5              | 1 000         | 82,0%                    |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.4.2. Lámparas fluorescentes

La luz se produce debido al fenómeno de fluorescencia por medio de una descarga eléctrica dentro de un tubo cuya longitud es mucho mayor que su diámetro, en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión. La radiación de mercurio en estas condiciones no es visible, por lo que se utilizan polvos fluorescentes, los cuales tienen la propiedad de cambiar la longitud de onda ultravioleta del arco a longitudes dentro del espectro visible.

La apariencia de la luz producida es una consecuencia de las características especiales de los polvos fluorescentes. Una lámpara luz de día hace resaltar los colores azules, disminuyendo los rojos; una lámpara blanco cálido por el contrario reproduce en mejor forma los colores rojos mientras que

los azules los desplaza hacia el gris; la lámpara blanco frío es de una aplicación intermedia, reproduciendo mucho mejor los colores naranja, verde y amarillo opacando un poco lo rojos y azules.

La lámpara fluorescente posee la ventaja de no producir la luz desde un mismo punto focal, sino de hacerlo en forma suave y difusa por toda su extensión sin producir resplandores ni sombras acentuadas. Por ello su luz aparece fresca y más eficiente reduciendo el esfuerzo visual. La limitación de uso de lámparas fluorescentes se encuentra sobre todo en su altura de montaje, ya que para alturas superiores a los 3 metros su aprovechamiento es reducido drásticamente. Las lámparas fluorescentes requieren de un reactor o balastro para operar; generalmente los balastros se diseñan para operar a la vez un par de lámparas, recientemente se han diseñado balastros para operar tres o cuatro lámparas.

Tabla VIII. **Datos de lámparas fluorescentes**

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas | DEPRECIACIÓN<br>LUMINOSA | OBSERVACIONES        |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| 20               | 1 300                        | 65,0              | 9 000         | 72,0%                    | AR Blanco Frío       |
| 20               | 1 075                        | 53,8              | 9 000         | 72,0%                    | AR Luz de Día        |
| 21               | 1 030                        | 49,0              | 7 500         | 81,0%                    | AI Luz de Día        |
| 22               | 1 050                        | 47,7              | 12 000        | 72,0%                    | AR Circular B. Frío  |
| 22               | 850                          | 38,6              | 12 000        | 72,0%                    | AR Circular L. d/Día |
| 32               | 1 900                        | 59,4              | 12 000        | 82,0%                    | AR Circular B. Frío  |
| 32               | 1 500                        | 46,9              | 12 000        | 82,0%                    | AR Circular L. d/Día |
| 39               | 3 000                        | 76,9              | 9 000         | 82,0%                    | AI Blanco Frío       |
| 39               | 2 500                        | 64,1              | 9 000         | 82,0%                    | AI Luz de Día        |
| 40               | 2 900                        | 72,5              | 12 000        | 84,0%                    | AR TIPO U BF         |
| 40               | 3 150                        | 78,8              | 12 000        | 83,0%                    | AR Blanco Frío       |
| 40               | 2 600                        | 65,0              | 12 000        | 83,0%                    | AR Luz de Día        |
| 75               | 6 300                        | 84,0              | 12 000        | 89,0%                    | AI Blanco Frío       |
| 75               | 5 450                        | 72,7              | 12 000        | 89,0%                    | AI Luz de Día        |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.4.3. Lámparas fluorescentes compactas

Son lámparas pequeñas que funcionan bajo el principio de generación de luz fluorescente, requieren de equipo adicional como un balastro o adaptador para poder ser instaladas. Las lámparas fluorescentes compactas son una opción eficiente para sustituir un foco incandescente, ahorran hasta un 75% de energía eléctrica por cada lámpara. Existen lámparas compactas que cuentan con alto índice de rendimiento de color, además utilizan 75% menos electricidad y con un tiempo de vida 10 veces mayor que un foco incandescente. Su aplicación es ideal para pasillos, corredores, anuncios de emergencia, luz exterior y están disponibles en una gran variedad de longitudes, potencias y temperaturas de color.

Tabla IX. Datos de lámparas fluorescentes compactas

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|
| 7                | 400                          | 57,1              | 10 000        |
| 9                | 600                          | 66,7              | 10 000        |
| 9                | 430                          | 47,8              | 10 000        |
| 11               | 600                          | 54,5              | 10 000        |
| 13               | 900                          | 69,2              | 10 000        |
| 13               | 860                          | 66,2              | 10 000        |
| 15               | 900                          | 60,0              | 10 000        |
| 15               | 600                          | 40,0              | 80 000        |
| 15               | 675                          | 45,0              | 80 000        |
| 16               | 900                          | 56,3              | 7 000         |
| 17               | 600                          | 35,3              | 10 000        |
| 17               | 870                          | 51,2              | 10 000        |
| 18               | 1 200                        | 66,7              | 12 000        |
| 18               | 1 100                        | 61,1              | 10 000        |
| 18               | 800                          | 44,4              | 10 000        |
| 20               | 1 200                        | 60,0              | 10 000        |
| 23               | 1 550                        | 67,4              | 10 000        |
| 25               | 1 750                        | 70,0              | 10 000        |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).



#### **4.4.4. Lámparas de inducción**

Una de las alternativas para iluminación en vialidades como en centros comerciales con un menor consumo, mantenimiento casi nulo, 100 000 horas de vida útil y una buena distribución de luz son las lámparas de inducción.

Son lámparas que no ocupan electrodos, la energía para generar la luz se produce externamente a través de dos electroimanes que producen la inducción magnética de la lámpara.

Es una lámpara de vidrio que contiene un gas inerte a baja presión y una cantidad muy pequeña de vapor de mercurio. Las paredes están cubiertas de polvo fluorescente del mismo tipo empleado en lámparas fluorescentes lineales, lo que posibilita la obtención de diferentes tipos de temperatura de color. La cámara de descarga está fijada al equipo que provee la energía mediante un casquillo de plástico con cierre de seguridad.

Los componentes que hacen funcionar una lámpara de inducción son:

- Un generador de alta frecuencia genera energía eléctrica. Produce una corriente alterna de 2,65 megahercios o 13 megahercios que se suministra a una antena la cual contiene un oscilador ajustado a las características de la bobina primaria.
- Bobina de inducción sin electrodos, se descarga la energía hacia la ampolla de cristal. Transfiere energía desde el generador de alta frecuencia a la ampolla utilizando una antena formada por una bobina primaria de inducción y un núcleo de ferrita. Este equipo, además, consta

de un soporte para la antena, un cable coaxial y una varilla termo conductora.

- La descarga eléctrica opera en forma semejante a las fluorescentes con cátodos, Electrón / Ion Plasma y Gas Inerte, se convierten la energía en Radiación Ultravioleta.
- La película fluorescente, capa de trifósforo, convierte la radiación ultravioleta en luz visible.

Tabla X. **Datos de lámparas de inducción**

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|
| 70               | 6 200                        | 88,6              | 100 000       |
| 70               | 6 200                        | 88,6              | 100 000       |
| 100              | 8 000                        | 80,0              | 100 000       |
| 100              | 8 000                        | 80,0              | 100 000       |
| 150              | 12 000                       | 80,0              | 100 000       |
| 150              | 12 000                       | 80,0              | 100 000       |

Fuente: GARCÍA SANZ, María Peñahora. *Iluminación en puestos de trabajo, criterios para su evaluación y acondicionamiento*. p. 126.

#### 4.4.5. Lámparas de vapor de mercurio

Estas lámparas pertenecen a la familia identificada como Lámparas de Alta Intensidad de Descarga (HID). La luz se produce al paso de una corriente eléctrica a través de gas de mercurio gasificado de baja presión. Las lámparas de alta intensidad de descarga llevan un tubo de descarga gaseosa que va

alojado en el interior de un bulbo protector, este tubo de descarga ópera a presiones y densidades de corriente de magnitud suficiente alta para producir la radiación visible, cuando en sus electrodos se aplica una tensión que da lugar a un arco eléctrico que posteriormente ioniza el gas. Esto vaporiza el mercurio, calentándose rápidamente la lámpara, hasta alcanzar una condición estable.

La cantidad de mercurio puro que contiene una lámpara se gradúa con exactitud, también se incluye gas argón para facilitar la descarga eléctrica. Las lámparas producen una luz verde azulada blanquecina debido a la ausencia de radiaciones rojas que provoca la combinación mercurio argón.

Tabla XI. **Datos de lámpara de vapor de mercurio**

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas | DEPRECIACIÓN<br>LUMINOSA |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|
| 100              | 4 200                        | 42,0              | 24 000        | 82,0%                    |
| 175              | 8 600                        | 49,1              | 24 000        | 89,0%                    |
| 250              | 12 100                       | 48,4              | 24 000        | 84,0%                    |
| 400              | 22 500                       | 56,3              | 24 000        | 86,0%                    |
| 1 000            | 63 000                       | 63,0              | 24 000        | 77,0%                    |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.4.6. Lámparas de vapor de sodio en alta presión

Estas lámparas funcionan bajo el mismo principio que las de vapor de mercurio pero varían en sus componentes y geometría. Sus componentes son sodio, mercurio y un gas noble que puede ser argón o xenón; el principal productor de la luz es el sodio que a diferencia de las lámparas de mercurio se

encuentra en alta presión, el mercurio en este caso es un corrector de color y controlador de voltaje, el xenón es empleado para iniciar la descarga eléctrica.

Poseen una alta eficacia lumínica pero con bajo rendimiento del color. Requieren de un período de calentamiento de 3 a 4 minutos para lograr su completa brillantez, si existe una interrupción momentánea el tiempo de reencendido es casi de un minuto.

La función de arranque se efectúa por la intervención de un circuito electrónico llamado ignitor, que trabaja en conjunto con los componentes magnéticos del balastro. Estas lámparas producen una luz dorada blanquecina provocada por el predominio del sodio y la corrección de color del mercurio.

Tabla XII. **Datos lámparas de vapor sodio a alta presión**

| <b>POTENCIA<br/>Watt</b> | <b>FLUJO<br/>LUMINOSO<br/>lumenes</b> | <b>EFICACIA<br/>lum/W</b> | <b>VIDA<br/>horas</b> | <b>DEPRECIACIÓN<br/>LUMINOSA</b> |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 35                       | 2 250                                 | 64,3                      | 24 000                | 90,0%                            |
| 50                       | 4 000                                 | 80,0                      | 24 000                | 90,0%                            |
| 70                       | 6 300                                 | 90,0                      | 24 000                | 90,0%                            |
| 100                      | 9 500                                 | 95,0                      | 24 000                | 90,0%                            |
| 150                      | 16 000                                | 106,7                     | 24 000                | 90,0%                            |
| 250                      | 28 500                                | 114,0                     | 24 000                | 90,0%                            |
| 400                      | 50 000                                | 125,0                     | 24 000                | 90,0%                            |
| 1 000                    | 140 000                               | 140,0                     | 24 000                | 90,0%                            |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.4.7. Lámparas de vapor de sodio en baja presión

El principio de operación es el mismo que las demás lámparas de descarga, pero el gas de sodio se encuentra a baja presión y su geometría es de mayores dimensiones llegando a presentar una longitud mayor a un metro. Este tipo de fuentes luminosas es la de mayor eficacia lumínica; pero también las de menor rendimiento de color tan solo 20 por ciento, por ello su brillantez es totalmente monocromática en diferentes tonos de amarillo.

Para iluminación de seguridad, las lámparas de sodio de baja presión ofrecen la mayor eficacia luminosa. Debido a que en el espectro de frecuencias que emite esta lámpara está presente únicamente el color amarillo, se puede aplicar a lugares con mucha niebla y lugares con contaminación, ya que el ojo es más sensible a este color y facilita su visión.

Tabla XIII. Datos de lámpara de vapor de sodio a baja presión

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas | DEPRECIACIÓN<br>LUMINOSA |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|
| 18               | 1 800                        | 100,0             | 10 000        | 100,0%                   |
| 35               | 4 800                        | 137,1             | 24 000        | 100,0%                   |
| 55               | 8 000                        | 145,5             | 24 000        | 100,0%                   |
| 90               | 13 500                       | 150,0             | 24 000        | 100,0%                   |
| 135              | 22 500                       | 166,7             | 24 000        | 100,0%                   |
| 180              | 33 000                       | 183,3             | 24 000        | 100,0%                   |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.4.8. Lámparas de aditivos metálicos

Es otra lámpara de alta intensidad de descarga se caracteriza por su luz blanca y ser la de mejor rendimiento de color con alta eficacia lumínica. Cuando se requiere de iluminación de gran calidad en la reproducción de colores y en locales con altura superior a los tres metros de altura, esta fuente luminosa es la opción adecuada. Sin embargo, en locales donde la reproducción de colores no es necesidad imperiosa el uso de estas lámparas resulta un lujo.

Sus aplicaciones son bastante versátiles pudiéndose emplear tanto en locales interiores como en exteriores. Son especialmente recomendables para clubes deportivos, centros comerciales, alumbrado decorativo y espectacular, naves industriales donde se realizan tareas de precisión y clasificación por colores. La temperatura de color de este tipo de lámparas es de 4 100 Kelvin.

Tabla XIV. Datos de lámparas de aditivos metálicos

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas | DEPRECIACIÓN<br>LUMINOSA |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|
| 70               | 5 200                        | 74,3              | 10 000        | 80,0%                    |
| 70               | 5 500                        | 78,6              | 10 000        | 80,0%                    |
| 150              | 12 000                       | 80,0              | 10 000        | 80,0%                    |
| 150              | 12 500                       | 83,3              | 10 000        | 80,0%                    |
| 150              | 13 000                       | 86,7              | 10 000        | 90,0%                    |
| 200              | 19 000                       | 95,0              | 15 000        | 90,0%                    |
| 250              | 19 000                       | 76,0              | 10 000        | 80,0%                    |
| 320              | 32 000                       | 100,0             | 20 000        | 90,0%                    |
| 360              | 36 000                       | 100,0             | 20 000        | 90,0%                    |
| 400              | 33 000                       | 82,5              | 10 000        | 80,0%                    |
| 400              | 42 000                       | 105,0             | 20 000        | 90,0%                    |
| 750              | 75 000                       | 100,0             | 12 000        | 90,0%                    |
| 175              | 13 000                       | 74,3              | 10 000        | 77,0%                    |
| 250              | 20 500                       | 82,0              | 10 000        | 83,0%                    |
| 400              | 36 000                       | 90,0              | 20 000        | 90,0%                    |
| 1 000            | 110 000                      | 110,0             | 12 000        | 80,0%                    |
| 1 500            | 155 000                      | 103,3             | 3 000         | 92,0%                    |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.4.9. Lámparas de luz mixta

Las lámparas de luz mixta fueron creadas para corregir la luz azulada de las lámparas de mercurio y para esto se adiciona dentro del mismo bulbo un filamento incandescente. Estas lámparas se pueden conectar a la red eléctrica sin necesidad de emplear un balastro, puesto que el filamento además de fuente luminosa, actúa como resistencia limitante de la corriente eléctrica. Normalmente operan a un voltaje de 220 voltios.

Estas lámparas se aplican en el alumbrado de interiores y exteriores sustituyendo directamente a la iluminación incandescente de altas potencias. Su índice de reproducción de colores es de los más altos, pero su eficacia lumínica es baja, redundando en altos consumos de energía.

Tabla XV. Datos de lámparas de luz mixta

| POTENCIA<br>Watt | FLUJO<br>LUMINOSO<br>lumenes | EFICACIA<br>lum/W | VIDA<br>horas | DEPRECIACIÓN<br>LUMINOSA | OBSERVACIONES |
|------------------|------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| 160              | 3 000                        | 18,8              | 6 000         | 57,0%                    | LUZ MIXTA     |
| 250              | 5 500                        | 22,0              | 6 000         | 65,0%                    | LUZ MIXTA     |
| 500              | 12 500                       | 25,0              | 6 000         | 74,0%                    | LUZ MIXTA     |
| 500              | 10 950                       | 21,9              | 2 000         | 96,0%                    | iodo cuarzo   |
| 1 000            | 21 400                       | 21,4              | 2 000         | 96,0%                    | iodo cuarzo   |
| 1 500            | 35 800                       | 23,9              | 2 000         | 96,0%                    | iodo cuarzo   |

Fuente: Módulo II de curso-taller: promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, impartido por CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala).

#### 4.4.10. Diodos emisores de luz, LEDs

Los LEDs presentan muchas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente y fluorescente, principalmente por el bajo consumo de energía, mayor tiempo de vida, tamaño reducido, durabilidad, resistencia a las vibraciones, reducen la emisión de calor, no contienen mercurio (el cual al exponerse en el medio ambiente es altamente venenoso), en comparación con la tecnología fluorescente, no crean campos magnéticos altos como la tecnología de inducción magnética, con los cuales se crea mayor radiación residual hacia el ser humano; cuentan con mejor índice de producción cromática que otros tipos de luminarias, reducen ruidos en las líneas eléctricas, son especiales para utilizarse con sistemas fotovoltaicos (paneles solares) en comparación con cualquier otra tecnología actual; no les afecta el encendido intermitente (es decir pueden funcionar como luces estroboscópicas) y esto no reduce su vida promedio, son especiales para sistemas anti explosión ya que cuentan con un material resistente, y en la mayoría de los colores (a excepción de los LEDs azules), cuentan con un alto nivel de fiabilidad y duración.

Los 4 componentes básicos de su estructura son:

- Material emisor semiconductor, montado en un chip-reflector, este material determina el color de la luz.
- Los postes conductores (cátodo y ánodo).
- El cable conductor que une los dos polos.
- Un lente que protege al material emisor del LED y determina el haz de la luz.

Recuerde que LED significa Diodo Emisor de Luz (*Light Emitting Diode*), es un objeto que permite el flujo de corriente en una sola dirección. Dos materiales conductivos cualesquiera, forman un diodo cuando son puestos en



contacto. Cuando la electricidad pasa a través de un diodo, los átomos de uno de los materiales (contenido en un chip-reflector) son excitados a un mayor nivel. Los átomos en el primer material retienen mucha energía y requieren liberarla. Esta energía se libera como electrones al segundo material dentro del chip-reflector, durante esta liberación se produce la luz. El color de la luz es relativo a los materiales emisores semiconductores y procesos de elaboración del chip-reflector.

#### **4.5. Oportunidad de ahorro de energía en sistemas de iluminación**

La iluminación es tal vez uno de los principales sistemas en donde se presenta oportunidad de ahorro de energía en un diagnóstico realizado en la industria. Al observar en varias industrias se da cuenta que existen áreas con deficiencia de iluminación y alto consumo de energía.

Como primer paso debe de realizarse una inspección nivel uno o básico, en el cual se realizan exámenes visuales de las condiciones de iluminación como lo son (ver capítulo 4.3):

- Ubicación
- Estado de luminaria
- Tipo de lámparas utilizadas (actualmente existe más accesibilidad a lámparas más eficientes)
- Color del ambiente para mejorar reflexión

Como segundo paso o nivel dos, hay que verificar datos del consumo de energía para el tipo de lámparas instaladas, niveles de iluminación (ver tabla V) necesarios para el área de trabajo, reflexiones con distintos colores (ver tabla VI) y dispositivos sencillos de control automático.

Como último paso o nivel tres, para obtener información precisa, se harían uso de cálculos como lo es la luminotecnica para verificar datos precisos de niveles de iluminación, tipos de luminarias y distribución de estas.

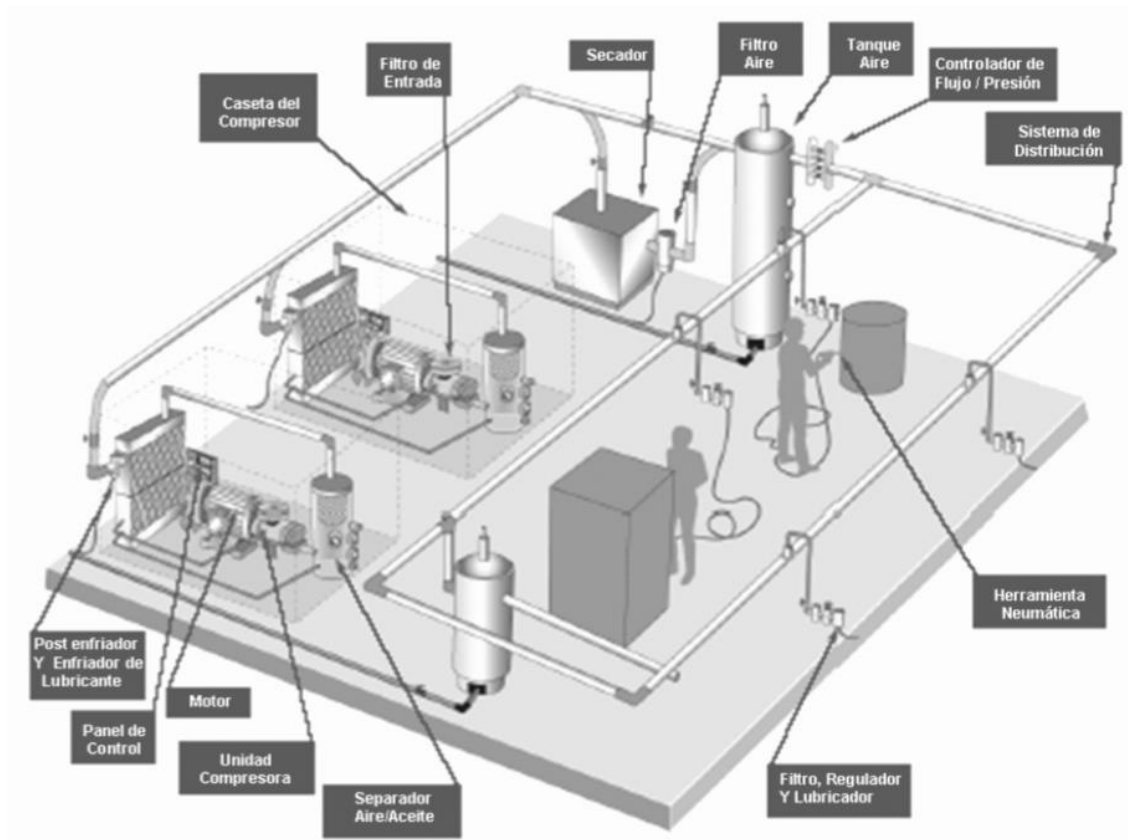
## **5. OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO**

El aire comprimido es uno de los servicios más utilizados por las industrias manufactureras. Debido a su facilidad de producción y transporte, se usa para mover una gran cantidad de equipos, como son taladros, llaves y desatornilladores, pistolas de pintura y prensas, entre otros; con el auxilio de pistones neumáticos tiene una gran aplicación en el ensamble de aparatos, montaje y desmontaje de elementos, así como en sistemas de control y de movimiento de elementos de maquinaria, transporte y traslado de productos, entre otros.

En cualquier transformación de energía, como al comprimir aire, se tiene una eficiencia que indica la parte aprovechada y la desaprovechada de la energía usada en el proceso. Parte desaprovechada de este proceso se atribuye al diseño del compresor, parte a la aplicación, parte a la operación y parte al mantenimiento. Al adquirir un compresor se debe estar pendiente de su buen diseño, de que esté apropiadamente aplicado, que se opere correctamente, y de que su mantenimiento sea óptimo. Aparte de los beneficios de contar con una larga y sana vida del compresor, éste estará operando con la máxima eficiencia con los consecuentes ahorros de energía y como corolario un significativo ahorro en dinero.

En los diagnósticos energéticos que se efectúan en las industrias que utilizan aire comprimido, se ha encontrado que la gran mayoría de ellas presentan oportunidades importantes de ahorro aplicando medidas de nulo o bajo costo.

Figura 7. Sistema de aire comprimido



Fuente: memorias de curso Taller de Promotores de Eficiencia de Energía Eléctrica CNEE.

### 5.1. Costo del aire comprimido

El aire comprimido es una de las formas más costosas del uso de la energía en las empresas manufactureras. Esto es debido a que aproximadamente se necesitan ocho caballos de potencia eléctrica para obtener un caballo de potencia en el aire comprimido. Por lo anterior, se hace necesario calcular el costo del aire comprimido en una planta para sustentar económicamente la aplicación de medidas de ahorro y uso eficiente tendientes a mejorar la eficiencia energética del sistema.

Para determinar el costo anual de la energía eléctrica utilizada para el aire comprimido, calcule el costo de operar el sistema bajo dos condiciones: a carga completa y a carga parcial.

En ambos casos, multiplique:

- La potencia del compresor (caballos de fuerza)
- El factor de conversión de caballos de fuerza a kilovatios (0.746)
- Las horas de operación anual del equipo (hrs/año)
- El costo del kWh (Q/kWh)
- El porcentaje de tiempo a plena carga o carga parcial
- El porcentaje de potencia (hp) a plena carga o carga parcial

El resultado de este producto divídalo entre la eficiencia ( $\eta$ ) del motor eléctrico:

$$\text{Costo anual} = \frac{(\text{hp})(0,746)(\text{horas/año})(\text{Q/kWh})(\%\text{tiempo})(\%\text{hp a plena carga})}{\eta_{\text{motor eléctrico}}}$$

También conviene tener un indicador del costo del aire comprimido; para esto, se calcula el costo de 100 metros cúbicos, se divide el costo total anual de la energía utilizada en la operación del compresor entre el volumen de aire producido anualmente y multiplique por 100.

Primero, se calcula el volumen de aire producido anualmente por el sistema para una operación específica; para esto, multiplique:

- La potencia del compresor (hp)
- Los metros cúbicos de aire por minuto y por caballo (m<sup>3</sup> min/hp)

- El total de horas de operación anuales (h/año)
- 60 minutos por hora (60 min/h)
- El porcentaje de tiempo a plena carga
- El porcentaje de potencia a plena carga

Volumen de aire producido anualmente:

$$\text{Volumen anual} = (\text{hp})(\text{m}^3 / (\text{min} * \text{hp}))(\text{60min/hora})(\text{horas/año}) (\% \text{hp}_{\text{Plena carga}})$$

Después, se calcula el costo por cada 100 metros cúbicos:

$$\text{Costo}_{100\text{m}^3} = \frac{\text{Costo energía anual utilizada por el compresor (Q)}}{\text{Aire producido anualmente}} \times 100$$

## 5.2. Análisis del sistema de aire comprimido

Antes de aplicar alguna medida o estrategia para reducir el consumo de energía, es conveniente familiarizarse con todos los aspectos del sistema de aire comprimido los cuales nos ayudarán a diagnosticar una fuente de pérdida de energía.

### 5.2.1. Suministro

Se analiza el lado del suministro del sistema, el tipo de compresor utilizado y se ve si los controles y parámetros de operación fijados son los adecuados, así como las demás condiciones de operación. Familiarizarse con las capacidades básicas del sistema y sus modos de operación (manual, automática, semiautomática).

Verificar que el compresor no sea muy grande (sobredimensionado) para el servicio que va a cumplir. Por ejemplo, un compresor estará sobredimensionado si el uso final solamente requiere una presión del 50 por ciento de la presión que es capaz de producir.

Sólo cuando se tiene una panorámica completa de las condiciones de suministro, éstas pueden ser modificadas, dentro de los límites de la unidad de aire comprimido para satisfacer la demanda de aire.

### **5.2.2. Demanda del sistema**

Identificar todos los usos de aire comprimido en la empresa. Determinar el volumen de aire utilizado por cada aplicación y elabore un perfil de demanda para el compresor con la cantidad de aire utilizado en función del tiempo. Las especificaciones de consumo de aire de los equipos son una buena fuente de datos para obtener los valores del volumen de aire. En el perfil de demanda se destacarán las demandas máxima y mínima del sistema; esto ayudará a identificar los usos inadecuados del aire comprimido.

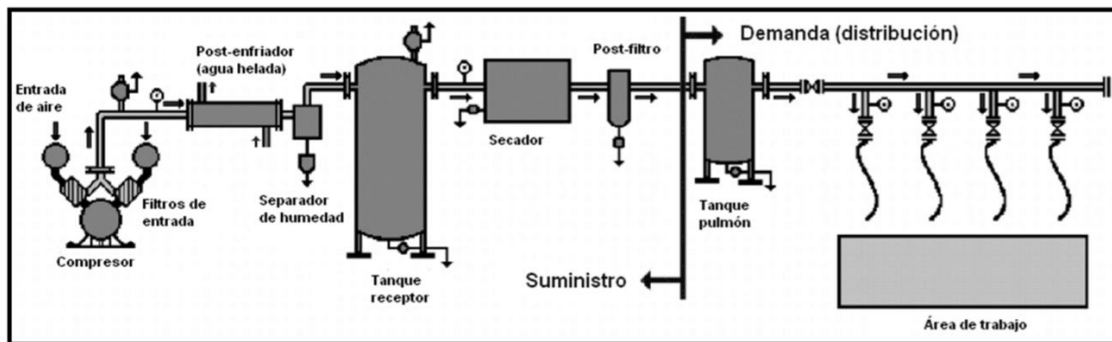
### **5.2.3. Diagrama del sistema**

Elaborar un diagrama del sistema de aire comprimido de su planta que incluya compresores, líneas de suministro con sus dimensiones y los usos finales, para tener una vista general del proceso completo.

#### 5.2.4. Sistema de distribución

Revisar cuidadosamente el sistema de distribución en busca de problemas, como pueden ser: diámetros de tubería muy chicos, pérdidas de presión, capacidad de almacenamiento, fugas de aire y mal drenaje de agua condensada. Verifique que todos los drenajes funcionan correctamente, ya que el drenaje inadecuado de los condensados aumenta la presión a través del sistema de distribución.

Figura 8. Sistema de distribución de aire comprimido



Fuente: [www.conuee.gov.mx](http://www.conuee.gov.mx). Consulta: 22 de diciembre de 2013.

#### 5.2.5. Mantenimiento

Revisar y evaluar los procedimientos de mantenimiento, los registros que se llevan y la capacitación del personal. Asegúrese de que los procedimientos son adecuados para operar y mantener el sistema de aire comprimido y que el personal se ha capacitado en estos procedimientos.



### **5.3. Estrategias de ahorro y uso eficiente de un sistema de aire comprimido**

Identificar aquellas oportunidades de ahorro y uso eficiente que sean fáciles de implementar en su sistema mediante la realización de recorridos de inspección que abarquen todos los componentes del sistema.

Las medidas de ahorro simples y prácticamente sin costo pueden derivar en ahorros de hasta 25 por ciento del costo de la energía utilizada por el sistema de aire comprimido.

#### **5.3.1. Fugas**

Revisar periódicamente el sistema en busca de fugas. Un sistema de distribución a 7 kilogramos por centímetro cuadrado de presión, operando 40 horas por semana con una fuga equivalente a un orificio de 6 milímetros de diámetro, pierde aproximadamente 2,8 metros cúbicos de aire por minuto el cual tendría un costo alto anual.

#### **5.3.2. Presión del compresor**

El compresor debe producir aire a una presión suficientemente alta para vencer las pérdidas de presión del sistema de distribución y llegar a los equipos (uso final) con la presión requerida por éstos. Las pérdidas de presión en un sistema diseñado correctamente deben ser menores al 10 por ciento de la presión de descarga del compresor, determinada por un manómetro a la salida de éste. Si la pérdida de presión es mayor al 10 por ciento, revise su sistema de distribución e identifique las áreas que pueden causar una caída de presión excesiva.

Por cada 0,15 kilogramos por centímetro cuadrado que se reduzca la presión de suministro del compresor, el costo de operación del sistema de aire comprimido se reducirá aproximadamente en 1,5 por ciento.

### **5.3.3. Encontrar demandas extras**

Una demanda extra se crea cuando a un equipo de uso final se le suministra aire a una presión mayor que la requerida. Si un equipo o servicio requiere una presión de 3,5 kilogramos por centímetro cuadrado, pero se le suministran 6,3 kilogramos por centímetro cuadrado, se está usando aire comprimido en exceso. Utilizar reguladores de presión en los puntos de uso final para minimizar las demandas extras.

### **5.3.4. Usos inapropiados**

Localizar los usos inapropiados que se dan al aire comprimido en su empresa. En vez de utilizar aire comprimido, instale utilice ventiladores o aire acondicionado para mantener frescos los gabinetes eléctricos. Use sopladores para agitar, aspirar, enfriar, mezclar o inflar, o bien aire a baja presión para pistolas de pintura o lanzas de aire. Evite emplear aire comprimido para limpiar maquinaria, pues es muy costoso y, además, las partículas de suciedad penetran en lugares donde ocasionan un desgaste prematuro de la maquinaria o mal funcionamiento. Desconecte de la fuente de aire comprimido los equipos que no se utilizarán por largo tiempo.

### **5.3.5. Recuperación de calor**

En un compresor típico, entre 80 y 90 por ciento de la energía utilizada se convierte en calor; por esto, una unidad de recuperación de calor bien

seleccionada podrá aprovechar gran parte de este calor y utilizarlo, por ejemplo, para calentamiento de agua o aire. Se estima que de un compresor con una capacidad de 2,8 metros cúbicos por minuto, operando a plena carga, se pueden recuperar aproximadamente 14,7 kilovatios por hora en forma de calor.

### **5.3.6. Filtros de aire**

Básicamente, el trabajo de un compresor consiste en elevar la presión del aire ambiente a la presión de trabajo que se le fija en el sistema de control. Los filtros sucios o tapados ocasionan que la presión de succión baje considerablemente y que el compresor tenga que utilizar más energía para alcanzar su presión de trabajo. Por esto, mantenga libres de polvo y suciedad los filtros de aire de admisión para evitar la caída de presión que se produce al restringir la entrada de aire al compresor. Equipe al compresor con filtros de mayor superficie para reducir la caída de presión y límpielos o cámbielos periódicamente.

### **5.3.7. Tamaño del compresor**

Si su compresor está sobredimensionado, agregue al sistema un compresor de menor caballaje con un controlador de secuencia para hacer la operación más eficiente cuando se trabaja a carga parcial. Este dispositivo puede programar la entrada o salida de operación de varios compresores, dependiendo de la variación de la necesidad de aire comprimido durante el día.

### **5.3.8. Tanque de almacenamiento**

Normalmente, los compresores de aire se suministran con un tanque de almacenamiento de acuerdo con la capacidad del compresor; si su sistema de

aire comprimido tiene un tanque de almacenamiento reducido o no cuenta con él, agregue uno para amortiguar los cambios de demanda y reducir los ciclos arranque/paro del compresor. El tanque se dimensiona de acuerdo con la potencia del compresor; por ejemplo, un compresor de aire de 50 caballos de fuerza necesitará aproximadamente un tanque de almacenamiento de 190 litros.

Los tanques de almacenamiento de aire para instrumentación y servicios tienen como finalidad proteger los compresores en los ciclos de arranque y paradas de estos, además de tener la capacidad suficiente para en caso de fallo poder llevar a los equipos de la planta a situación de paro seguro para evitar así posibles daños de las instalaciones y equipos neumáticos.

Tanque de instrumentos:

Para el cálculo del volumen del tanque de aire de instrumentos se tiene en cuenta:

- Tiempo residencia, será el suficiente para abastecer los equipos neumáticos de la planta de aire comprimido hasta la situación de paro seguro. Este tiempo suele oscilar entre 10-20 minutos.
- El caudal del aire de instrumentos.
- Presiones de arranque y paro del compresor respectivamente, según nuestras presiones mínimas y máximas admisibles por el sistema de aire comprimido.

Se parte de la ecuación de los gases nobles de donde se calcula el número de moles de aire comprimido de nuestro sistema.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

Donde:

P: presión del tanque

V: volumen del tanque

R: constante de los gases perfectos

T: temperatura del aire

Como el volumen de un mol de gas en condiciones normales es de 0,0224 metros cúbicos, se calcula el volumen de un mol de aire a las condiciones de operación del sistema, partiendo de la base de que la cantidad de masa es invariable independientemente de las condiciones a las que se encuentre el gas.

$$\frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{P_2 V_2}{R T_2}$$

Donde:

$R = 0,008314 \frac{\text{Kpa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$  la constante de los gases perfectos

Las condiciones 1, serían las condiciones normales

Las condiciones 2, serían las condiciones de operación de nuestro sistema

De la ecuación anterior se calculará el  $V_2$  ( $\text{m}^3$ ) de aire a nuestras condiciones de operación, que será en la siguiente ecuación el  $V_m$ .

A continuación, volviendo a hacer uso de la ecuación de los gases perfectos y de las presiones de arranque y paro del compresor, que se

determina según las exigencias del sistema, para calcular el volumen del tanque de instrumentación.

$$\frac{(V_{si}-V_{sf})m^3}{Vm\left(\frac{m^3}{mol}\right)} = \frac{V_{TQ}(P_i-P_f)}{R T_{TQ}}$$

Donde:

$V_{si}$ : volumen del sistema inicial

$V_{sf}$ : volumen del sistema final

$V_{si}-V_{sf} = Q_{aire} \theta$ ;

Teniendo en cuenta que:

$Q_{aire}$ : es el caudal de aire de instrumentación en  $m^3/h$

$\theta$ : es el tiempo de residencia que se establezca

$V_m$ : será el volumen de aire por mol calculado con la segunda ecuación ( $m^3/mol$ )

$V_{TQ}$ : volumen del tanque de instrumentación, en este caso nuestra incógnita ( $m^3$ )

$T_{TQ}$ : temperatura del aire de instrumentación

$P_i$  y  $P_f$ : serán las presiones de arranque y paro del compresor (Kpa)

Estas presiones las obtendremos tras el cálculo de las pérdidas de carga, ya que serán las presiones mínimas y máximas que necesita el sistema de aire comprimido para cumplir las exigencias de la planta.

Si se sustituyen las dos últimas ecuaciones y se despeja  $V_{TQ}$ , se obtiene finalmente el volumen del tanque de instrumentación:

$$V_{TQ} = \frac{R \cdot T_{TQ} (P_i - P_f)}{(P_i - P_f)} \cdot \frac{Q_{aire} \cdot \theta}{V_m m^3 / mol}$$

Tanque de aire de servicios:

Con el fin de respaldar la red de instrumentación, la cual es imprescindible para el funcionamiento una industria, el tanque del aire de servicios debe tener capacidad suficiente para abastecer las necesidades del aire de instrumentos por si se produjese algún fallo en el suministro de éste.

Por este motivo la capacidad del tanque de servicios será igual a la del tanque de instrumentos aunque realmente tenga un caudal y presión de operación menores al de instrumentación.

### **5.3.9. Aire de admisión**

Cuando los compresores succionan aire más frío, el cual es más denso, utilizan menos energía para elevarlo a la presión de trabajo requerida. Por ejemplo, si se enfría el aire de entrada a un compresor de 32 grados Celsius, mezclándolo con otra corriente más fría o succionándolo de otra parte, hasta una temperatura de 21 grados Celsius, la reducción de 11 grados Celsius bajará el consumo de energía en 3,5 por ciento, obteniendo un ahorro.

### **5.3.10. Fajas**

Periódicamente revise que la tensión de las fajas sea la adecuada; las fajas flojas se deslizan más y reducen la eficiencia de la transmisión del motor

al compresor. Prefiera las fajas del tipo ranurado, pues estas tienen un mejor efecto.

#### **5.4. Tipos de sistemas de distribución de aire comprimido**

El objetivo del sistema de distribución es el de llevar el aire comprimido a los puntos donde lo requieren los usuarios finales, lo que debe realizarse con una caída de presión mínima. Con relación a este punto, se tiene que usualmente la presión de operación de un compresor para aire comprimido es de 100 libras por pulgada cuadrada de presión de manómetro ( $7 \text{ kgf/cm}^2$ ), pero la presión óptima de operación de las herramientas y dispositivos neumáticos es de unos 90 libras por pulgada cuadrada de presión de manómetro ( $6,3 \text{ kgf/cm}^2$ ), lo que indica que en estos casos la caída de presión del sistema sea de unos 10 libras por pulgada cuadrada de presión de manómetro ( $0,7 \text{ kgf/cm}^2$ ). Con frecuencia se toma esta caída de presión como el valor máximo de diseño de un sistema de distribución. Esta caída incluye la caída de presión que se tiene en los accesorios y equipos de usuarios finales.

El diseño del sistema de distribución requiere, tomar en cuenta la posibilidad de expansión futura, que incide principalmente en el dimensionamiento de los cabezales de distribución y el tanque de almacenamiento.

Ante la posibilidad de que se arrastre agua o aceite en exceso por lo que las tuberías horizontales, deberán contar con una ligera pendiente aguas abajo para facilitar el desalojo de esas sustancias, contando además con trampas para la purga del sistema; para evitar estos problemas, las tomas de aire en tuberías verticales que descenden, deberá hacerse por la parte superior. Se



debe garantizar que el sistema en general produce una buena distribución de aire, independientemente de si todos los usuarios finales demandan aire o no.

El dimensionamiento de redes de tuberías no es un problema cerrado, por lo que para su solución se requieren especificar las principales características de diseño, y a partir de éstas, calcular los diámetros de tubería correspondientes.

Independientemente del sistema que se elija, desde el punto de vista tecno-económico debe tenerse en cuenta que en un sistema de tuberías existen soluciones múltiples y que existe un compromiso tal que a mayores diámetros de tubería, se tienen costos de instalación más elevados y al mismo tiempo, a menores consumos de energía en el compresor o compresores a diámetros más pequeños, ocurre el efecto contrario. No se puede determinar cuál es la condición de costo total mínimo.

#### **5.4.1. Sistema de distribución ramificado**

En este sistema, a partir del cabezal principal, se generan los ramales secundarios hacia los distintos puntos de consumo. En esencia es igual a un sistema de ductos de distribución de aire acondicionado. Como desventaja inherente a este tipo de sistemas, está el desbalanceo de la carga que causa una mala distribución de aire, por lo que será necesario tomar en cuenta este efecto para diseñar con mayor cuidado el tamaño de las líneas de distribución. La caída total de presión del sistema se determina tomando en cuenta el punto más alejado de consumo.

#### **5.4.2. Sistema de distribución en anillo**

En este sistema, a partir del cabezal principal para el suministro de aire a los usuarios finales, se utiliza uno o varios lazos cerrados, con lo que se garantiza que la presión en los diversos puntos de consumo será más uniforme en cualquier condición de carga del sistema, al provenir el aire para cada equipo o herramienta desde dos puntos. Evidentemente se incrementa la cantidad de tubería y se disminuye la capacidad de cada línea, lo que produce caídas de presión más bajas.

## **6. OPORTUNIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE BOMBEO**

Las bombas han tenido y tienen un papel decisivo en el desarrollo de la humanidad. No es posible imaginar los modernos procesos industriales y la vida en las grandes ciudades sin la participación de estos equipos en conjunto con motores eléctricos.

Están presentes en las grandes centrales termoeléctricas, en las empresas de procesos químico, en las industrias alimenticias. Están presentes también en los equipos automotores. Tiene un decisivo papel en el confort de los grandes asentamientos humanos con el suministro de agua, evacuación de residuales y suministro de aire acondicionado. Los equipos de bombeo en general son decisivos en los sistemas de riego para la producción agrícola de alimentos.

### **6.1. Curva característica de la bomba**

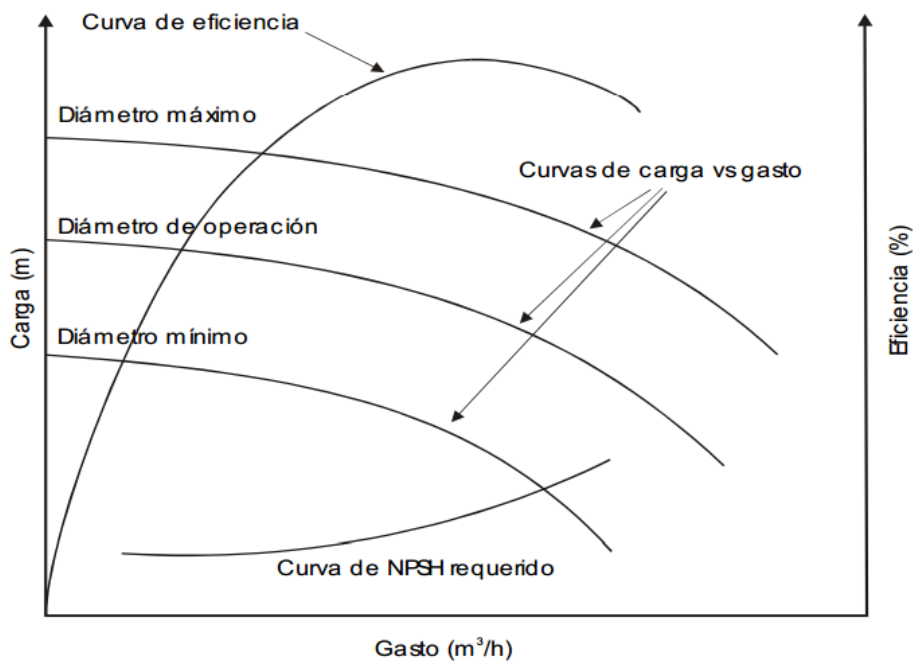
Teniendo la información de los datos de placa de la bomba, se deben consultar los catálogos o información técnica del fabricante para obtener las curvas características de la bomba centrífuga; dichas curvas son aquellas que relacionan las variables que intervienen en el funcionamiento de la misma.

Las curvas características de las bombas presentan datos similares independientemente del fabricante y en general incluyen:

- La curva de carga *versus* caudal (trazada para diferentes diámetros de impulsor y a velocidad constante).
- La curva de NPSH (*Net Positive Suction Head*) *versus* caudal.
- La curva de eficiencia *versus* caudal.
- La curva de potencia *versus* caudal.

En caso de no contar con la información técnica del fabricante de la bomba que se desea evaluar, se podrán utilizar curvas de referencia que contengan características similares de la bomba, es decir: diámetro y tipo de impulsor, velocidad, tamaño, entre otros.

Figura 9. **Curva característica de una bomba centrífuga**



Fuente: Curso Taller de Promotores de Eficiencia de Energía Eléctrica CNEE, Módulo VIII.

## **6.2. Factores que afectan la eficiencia de una bomba**

Existen condiciones que afectan negativamente la eficiencia del equipo de bombeo, en general corresponde a la fabricación del diseño del equipo. Entre las principales se tienen las siguientes:

### **6.2.1. Pérdidas volumétricas**

Estas pérdidas son indicativas de una circulación de flujo del lado de alta presión al de baja presión del impulsor; aunque en general, estas pérdidas son pequeñas, pueden tomar importancia bajo condiciones de desgaste o desajuste de la bomba.

### **6.2.2. Pérdidas hidráulicas**

Constituyen la diferencia entre la carga que podría obtenerse de la energía disponible en el impulsor y aquella que realmente se desarrolla; las más importantes son por choque de entrada, generadas por el cambio de dirección del líquido y por fricción del líquido, al fluir.

### **6.2.3. Cavitación**

La cavitación es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor

presión e implotan produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que se origina este fenómeno.

El fenómeno de cavitación para una bomba es muy importante, pues puede ocasionarle daños severos, erosionándola y acortando su vida útil. Para evitar la aparición de la cavitación se debe controlar la altura de succión, es decir la altura a la cual se debe ubicar la bomba en relación a la altura o nivel de extracción del líquido.

Para determinar la altura máxima de ubicación de una bomba se debe calcular la carga neta positiva de succión (NPSH) disponible a la entrada de la bomba para que no se produzca cavitación.

#### **6.2.4. Pérdidas mecánicas**

Se deben principalmente a la fricción de cojinetes, empaques o sellos y a la fricción del disco generada entre los lados del impulsor y el líquido. Estas pérdidas se pueden prevenir realizando una rutina de mantenimiento mecánico preventivo y así para evitar desgates innecesarios en el equipo.

#### **6.2.5. Características del líquido**

Las condiciones del fluido a manejar, tienen consecuencias sustantivas sobre la operación de las bombas centrífugas, ya que pueden afectar la construcción del equipo, y por lo tanto, el rendimiento y la potencia. Entre las más importantes tenemos la corrosión, temperatura a manejar, tamaño de partículas en el líquido y uso al que se destinará, entre otras.

Mientras más desfavorables sean las condiciones, mayores serán las exigencias constructivas en cuanto a materiales, metalurgia, tipo de impulsores, accesorios propios de la bomba, entre otros.

#### **6.2.6. Condiciones de instalación**

Existen condiciones de instalación que influyen negativamente en la eficiencia del equipo de bombeo, las cuales hay que tener presentes antes de la instalación. Teniendo en cuenta estas condiciones se evitara pérdidas de energía y daño al equipo; se puede citar las siguientes:

##### **6.2.6.1. Pérdidas en motor y acoplamiento**

Aunque son externas a la bomba, es conveniente saber que estos componentes influyen en la eficiencia global. Aquí se refiere a su rendimiento y diseño; sin embargo, es importante aclarar que el montaje apropiado del conjunto bomba-motor es necesario, para asegurar la máxima eficiencia.

Una deficiente alineación impone cargas adicionales sobre los cojinetes y flexión en una o varias de las flechas del conjunto, ocasionando pérdidas de eficiencia y un mayor consumo de energía debido a la fricción y al desbalance mecánico; lo cual provoca vibraciones dañinas a los equipos, afectando la eficiencia global.

La temperatura ambiente también puede tener efectos en la eficiencia, pues en el caso de los motores la reduce a medida que sea más alta y en caso de ser muy extrema, provoca esfuerzos y deformaciones en los equipos, es por ello que deberá tomarse en cuenta al realizar el montaje y puesta en

servicio, sobre todo permitiendo que se estabilice, antes de restringir el movimiento del conjunto.

#### **6.2.6.2. Pérdidas en la bomba**

Las vibraciones, ruido, movimientos y desbalance del equipo tienen consecuencia en la operación hidráulica, ya que se afectan tolerancias y cargas, reduciendo la capacidad real del mismo, requiriendo para ello una mayor potencia y como consecuencia disminuye la eficiencia.

A menudo, la causa raíz de que los niveles de vibración y ruido sean demasiado altos está relacionada con una desalineación del eje, lubricación inadecuada, un montaje incorrecto y disposiciones de rodamientos inapropiados o un enfriamiento ineficaz. Los altos niveles de vibración aumentan el consumo de energía y pueden causar averías prematuras de los equipos y elevados costes de mantenimiento, lo cual incluye con frecuencia paros imprevistos.

La densidad menor de la mezcla líquido-vapor, provoca una reducción en el volumen real bombeado y por lo tanto la eficiencia disminuye. Asimismo, se inducen vibraciones y si el fenómeno es severo, puede causar daños internos a otras instalaciones y equipos e incluso el colapso del propio impulsor.

#### **6.2.6.3. Alineación**

La correcta alineación de la bomba y el motor, es de suma importancia para conseguir una operación mecánica libre de problemas; por lo que esta se debe verificar de acuerdo a recomendaciones del fabricante.



#### **6.2.6.4. Impulsores**

Se deben ajustar los impulsores antes de intentar poner en marcha la bomba. Una bomba nueva se debe operar con los impulsores ajustados a la mitad del juego lateral de acuerdo con recomendaciones del fabricante, esto es con el objeto de que la arena presente en el agua, no provoque un desgaste excesivo en la bomba lo cual afectaría a la bomba, especialmente a los impulsores. Una vez que el agua deje de salir con arena, los impulsores se podrán ajustar a su posición de trabajo más eficiente.

Por otra parte, las bombas que poseen un impulsor de acero inoxidable resultan ser menos eficientes que las de bronce.

#### **6.2.7. Recorte de impulsores**

El recorte de impulsor es una técnica empleada desde hace mucho tiempo para cubrir lagunas en las líneas de fabricación; de nueva cuenta se enfatiza que las relaciones de afinidad permitirán saber si recortando el impulsor se tendrá un punto de operación óptimo.

#### **6.2.8. Consideraciones de operaciones ineficientes**

Estas consideraciones son sólo algunas de muchas causas de ineficiencia al operar un equipo o sistema de bombeo en la industria, las cuales hay que tener en cuenta los límites de diseño del fabricante para operar el equipo. A continuación se detallan:

- Velocidad de giro alta
- Presión de carga excesiva

- Peso específico del fluido
- Sometimiento de la bomba a tensiones
- Alta de grasa o grasa inadecuada
- Contra presión excesiva
- Cebado insuficiente
- Taponamiento de tubería
- Penetración de aire por el estopero
- Dirección de giro
- Velocidad de giro demasiado pequeña
- Fuertes desgastes de las piezas interiores
- Sellos desgastados
- Camisa de la flecha con estrías
- Agua de refrigeración
- Golpeteo de la flecha

### **6.2.9. Acuíferos**

Las causas a las que se atribuyen las bajas eficiencias del sistema con las que operan en general el aprovechamiento del acuífero se atribuyen al abatimiento del nivel dinámico, selección del equipo de bombeo (eficiencia de los impulsores y número adecuado de tazones), selección de la potencia del motor y al mantenimiento preventivo de bombas y motores.

Asimismo, uno de los parámetros más importantes y que condiciona las eficiencias electromecánicas de los equipos, es el gasto o caudal de operación. En muchos casos, las eficiencias de los equipos se ven determinadas por los bajos gastos de producción. Se justifica un bajo rendimiento en los equipos, si se toma en cuenta que los acuíferos sufren abatimientos y que esto conlleva a

que las cámaras de bombeo se reduzcan paulatinamente, provocando con esto bajos caudales de extracción.

Además, el bajo rendimiento de los aprovechamientos puede estar relacionado a la falta de mantenimiento de los equipos, ya que al paso del tiempo, se van generando irregularidades, tales como: incrustaciones en la tubería ranurada, que obstruye la circulación libre del acuífero, reduciendo consecuentemente los gastos de extracción.

Ante estas circunstancias, es evidente la realización de un diagnóstico más detallado que permita llevar a cabo mediciones directamente en todos los aprovechamientos y de esta manera, poder identificar con precisión y total certeza, las causas que ocasiona la baja eficiencia con la que operan actualmente los aprovechamientos. Si el diagnóstico lo indicara y el equipo opera desde hace algún tiempo de manera ininterrumpida, manifestando baja eficiencia y más, si ha tenido escaso mantenimiento, pudiera ser necesario desmontarlo y evaluar si existe desgaste en sus componentes ya que este afecta su eficiencia.

#### **6.2.10. Sobredimensionamiento**

El sobredimensionamiento de los equipos, es producto de un mal cálculo, falta de previsión y en algunos casos de información pobre, lo cual ocasiona que se disponga de equipos que no cumplan con las características que requiere el sistema hidráulico.

Se sabe que al sobredimensionar un equipo, se producen desventajas que ocasionan que se pierda eficiencia en el sistema, obteniéndose con ello gastos de energía innecesarios.

### **6.3. Factores que incrementan la eficiencia de una bomba**

Para mantener, prever o controlar la eficiencia, se pueden tomar en cuenta ciertas consideraciones importantes de los sistemas de bombeo al momento de selección, control, montaje y operación de estos equipos. Estos factores se muestran a continuación:

- Selección del equipo de bombeo (motor-bomba) apropiado, teniendo el conocimiento pleno del sistema
- Acabado de la superficie de los impulsores
- Selección adecuada de la velocidad específica de succión
- Control de líquidos viscosos
- Control de concentraciones de grandes volúmenes de sólidos
- Control del tamaño de sólidos
- Control de fricción en cojinetes, empaques o sellos
- Montaje apropiado del equipo (bomba-motor)
- Corregir desbalances
- Reducir vibraciones
- Alineación del equipo en forma programada
- Controlar la temperatura de operación del motor
- Evitar recortes de impulsores
- Controlar la velocidad del equipo
- Controlar la presión del fluido
- Evitar tensiones mecánicas en tuberías
- Reposición de grasa adecuada
- Verificar el cebado de bomba y tubería
- Evitar entrada de aire
- Cambiar sellos

- Controlar el abatimiento del nivel dinámico
- Control del peso específico del fluido que impulsa la bomba
- Nivelación de la flecha
- Verificar presión de succión y descarga

#### **6.4. Curva de operación del sistema de bombeo**

La curva del sistema queda definida por la carga estática total y las pérdidas de presión en el sistema (carga dinámica), esta curva es muy importante para verificar los límites de funcionamiento en los sistemas de bombeo.

##### **6.4.1. Carga estática total**

La carga estática total se determina conociendo la altura geométrica del nivel del líquido entre los recipientes de succión y descarga, la línea de centros de la bomba, así como las presiones en esos mismos puntos.

$$H_{ET} = H_D - H_S + \frac{P_D - P_S}{\gamma}$$

Donde:

- $H_{ET}$ : carga estática total
- $H_D$ : altura de descarga
- $H_S$ : altura de succión
- $P_D$ : presión de descarga
- $P_S$ : presión de succión
- $\gamma$ : peso específico del fluido

## **6.4.2. Carga dinámica total**

La carga dinámica total representa las pérdidas de presión, las cuales se originan por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes como pueden ser intercambiadores de calor u otros. Estas pérdidas varían proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad del caudal. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de tubos y accesorios y las características del líquido bombeado.

### **6.4.2.1. Método de medición de pérdida de presión global mediante el uso de manómetros**

Una forma práctica de medir la caída de presión en un sistema de bombeo es a través de mediciones en campo, por ejemplo, instalando manómetros en la descarga de la bomba (inmediatamente después de la brida) y al final de la línea de suministro.

$$\text{Pérdida de presión} = \text{presión punto}_1 - \text{presión punto}_2$$

### **6.4.2.2. Cálculo teórico de pérdida de tuberías**

Las pérdidas de carga en tuberías se determinan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, que en dinámica de fluidos relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida de presión) debido a la fricción a lo largo de una tubería dada con la velocidad media del flujo del fluido.

$$h_L = \frac{fLv^2}{2Dg} = \frac{8fLQ^2}{D^5g\pi^2}$$

Donde:

$h_L$  = pérdida de carga en las tuberías (m)

$f$  = factor de fricción (adimensional)

$v$  = velocidad del fluido (m/s)

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$L$  = longitud de tubería (m)

$D$  = diámetro de la tubería (m)

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\pi$  = constante 3,1416 (adimensional)

#### 6.4.2.3. Cálculo teórico de pérdida de tuberías

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción; tales energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo.

Estas se determinan mediante la siguiente ecuación:

$$h_A = \frac{k v^2}{2 g} = \frac{8 k Q^2}{D^4 g \pi^2}$$

Donde:

$h_A$  = pérdida de carga en accesorios (m)

$v$  = velocidad del fluido (m/s)

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$D$  = diámetro de la tubería (m)

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\pi =$  constante 3,1416 (adimensional)

$k =$  coeficiente de resistencia (adimensional)

El factor  $k$  es adimensional y su valor depende del tipo de accesorio y diámetro del mismo; se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio.

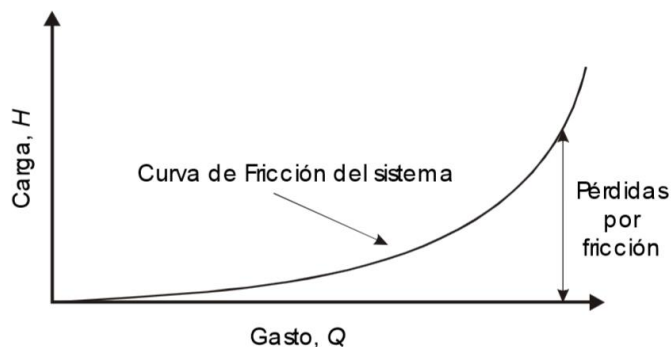
Algunos fabricantes pueden proporcionar su factor  $k$ , por lo tanto, deberá utilizarse ese valor.

### 6.4.3. Construcción de la curva del sistema

Una vez determinadas las pérdidas de fricción en tuberías se suman las pérdidas por accesorios y se construye la curva de pérdidas por fricción. Esta curva es necesaria para analizar en qué rangos de caudal o gasto y con qué carga se obtendría menos pérdidas.

$$h_f = h_L + h_A$$

Figura 10. **Curva de pérdidas de fricción en el sistema**



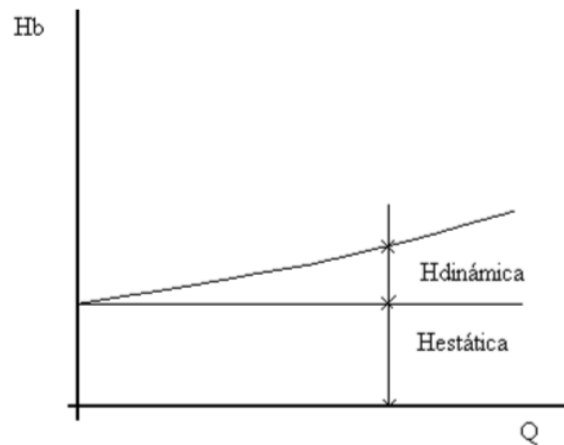
Fuente: Curso Taller de Promotores de Eficiencia de Energía Eléctrica CNEE, Módulo VII.



La curva del sistema es la suma de la carga estática total más la carga dinámica total:

$$H_{\text{Total}} = H_{\text{(Estática)}} + \frac{v^2_{\text{Descarga}} - v^2_{\text{Succión}}}{2g} + \sum \left[ \frac{fLv^2}{2Dg} \right]_i + \sum \left[ \frac{k \cdot v^2}{2g} \right]_i$$

Figura 11. **Curva de operación del sistema de bombeo**



Fuente: Curso Taller de Promotores de Eficiencia de Energía Eléctrica CNEE, Módulo VIII.

### 6.5. **Métodos de regulación de caudal**

Los procesos productivos de las empresas requieren condiciones de bombeo diferentes a las del caudal nominal, por lo tanto, es necesario aplicar algún tipo de control o regulación de caudal.

Los métodos de regulación del caudal se obtienen mediante:

- Regulación del caudal por estrangulación de la tubería que conduce el fluido (modificación de la curva del sistema sobre la que trabaja la bomba)
- Regulación del caudal mediante por desvío o baipás
- Regulación del caudal por variación de velocidad de la bomba
- Arranque o paro de la bomba

#### **6.5.1. Regulación de caudal por estrangulación**

En presencia de máquinas sobredimensionadas o durante la operación de equipos de bombeo que operan a flujo variable, se ve el ingeniero en la necesidad de reducir el flujo de trabajo de la máquina. También existen limitaciones energéticas del método de regulación por estrangulamiento, éstas son:

- Solamente permite reducir el flujo, si existiera necesidad de un flujo mayor se requiere de otro método.
- Aunque la potencia realmente consumida es menor y usted paga menos, la cantidad de energía usada de forma útil es menor y usted derrocha energía, que otro método permite usar de forma más racional.

#### **6.5.2. Regulación de caudal mediante desvío o *by-pass***

En presencia de sistemas sobredimensionados u operando procesos de capacidad variable otra solución dada es la colocación de una tubería con un sistema de válvulas que conecte la tubería de descarga con la de succión, o entre la región de descarga y el tanque de succión del sistema. El objetivo de dicha instalación es reducir el flujo que va al proceso derivando una parte del

flujo a la succión. También existen limitaciones energéticas del método de regulación por baipás, éstas son:

- Al pasar al punto de operación con mayor caudal, la bomba maneja un mayor flujo y reduce su carga de trabajo, demandando una mayor potencia y requiriendo mayor carga neta positiva en la succión (NPSH).
- Se reduce el flujo destinado al proceso, pero se paga una mayor cantidad de energía en esta operación.
- Aunque el valor de rendimiento de la bomba es el mismo no es aconsejable trabajar en este punto dado que opera de forma menos rentable. Se paga más por cada unidad de fluido bombeado al proceso.
- El requerir una mayor carga neta positiva en la succión en un punto de mayor caudal puede limitar la explotación. Ello depende del  $NPSH_{Regulada}$  disponible del sistema.

### **6.5.3. Regulación del caudal por variación de la velocidad de rotación de la máquina**

Ante la necesidad de regular el caudal dado a un proceso o en presencia de un sobredimensionamiento de la máquina, una opción es la regulación por variación de la velocidad de rotación de la máquina.

Hasta hace pocos años la regulación por variación de las RPM estaba limitada a máquinas de gran capacidad donde económicamente se justificaba la colocación de:

- Variadores mecánicos de velocidad
- Embragues hidráulicos
- Motores eléctricos de velocidad escalonada

En todos estos casos el costo del sistema de variación de la velocidad resultaba muy costoso y solo se justificaba en los casos de regulación profunda de la capacidad o flujo del proceso en máquinas de gran potencia.

En la actualidad el uso de los variadores de frecuencia presenta una alternativa que bajo un profundo análisis económico permite el uso del método de regulación de la capacidad por variación de la velocidad de rotación de la máquina.

Se tienen criterios técnicos y energéticos del método de regulación de la capacidad por variación de la frecuencia de rotación de la máquina, los cuales se mencionan a continuación:

- El cambio del punto de operación por la variación de la frecuencia de rotación de la máquina tiene lugar a lo largo de la característica hidráulica del sistema de tubería lo cual garantiza que no ocurrirá un incremento de las pérdidas producto de la regulación.
- La demanda de potencia decrece con el cubo de las revoluciones por lo que una reducción de flujo con este método resulta energéticamente muy conveniente.
- Este método de regulación a diferencia del método por estrangulamiento permite tanto reducir como incrementar el flujo durante la regulación, lo cual constituye una gran ventaja para la operación de un proceso a cargas variables.

- El desarrollo actual de los variadores de frecuencia y la reducción de los costos que los mismos han sufrido en los últimos años, permite aplicar este método con más facilidad.
- El control de velocidad es el medio más eficaz para modificar las características de una bomba sujeta a condiciones de funcionamiento variable.

#### **6.5.4. Arranque o paro de la bomba**

Este es el método de regulación de caudal más sencillo, ya que solo consiste en el apagado o encendido del motor de la bomba de acuerdo a la cantidad de caudal que se requiera, por ejemplo, una bomba que lleva agua a un tanque elevado mediante un control por nivel.



## 7. METODOLOGÍA PARA OPTIMIZACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Normalmente en las instalaciones eléctricas se encuentran dispositivos que transforman la energía en calor o en trabajo junto con elementos inductivos y capacitivos que no desarrollan trabajo, por otro lado, existe un ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente, al cual se le denomina ángulo de fase, dicho ángulo está medido en el tiempo y no en el espacio.

La energía utilizada en los dispositivos eléctricos, en su forma básica, se compone de tres elementos pasivos conocidos como cargas:

- Resistor (R)
- Inductor (L)
- Capacitor (C)

Estas cargas consumen potencia, la cual se clasifica de acuerdo al elemento que la consume, teniendo entonces:

- Potencia activa ( $p$ )
- Potencia reactiva inductiva (QL)
- Potencia reactiva capacitiva (QC)

Los motores eléctricos y transformadores son equipos formados por la combinación de resistencia e inductancia teniendo como consecuencia, el consumo de potencia activa ( $P$ , también llamada útil) y potencia reactiva

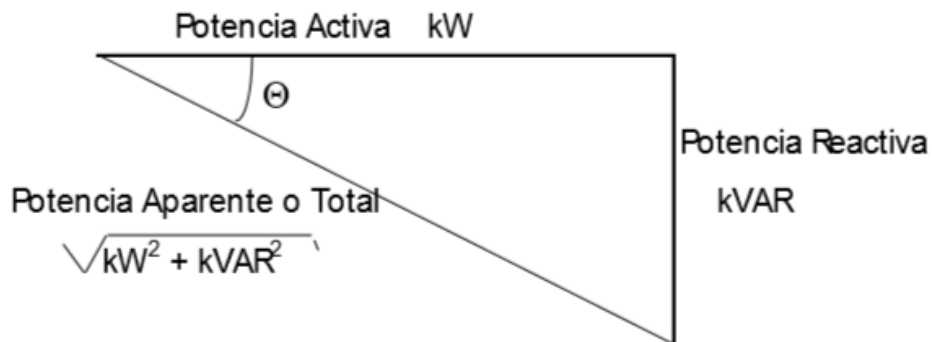
inductiva (QL), éstos a su vez determinan la potencia aparente, la cual es la base para dimensionar alimentadores y cableados.

Al utilizar cualquier equipo eléctrico, la potencia (o energía) real o activa es la que en el proceso de transformación se puede aprovechar como trabajo (lumínico, mecánico, calorífico), haciendo que ésta sea productiva y utilizable.

La energía y la potencia reactiva a pesar de ser necesarias para magnetizar motores, transformadores y otras cargas inductivas, no producen ningún trabajo útil y se mide en kiloVolts-Amperes Reactivos (kVAR).

En todas las instalaciones eléctricas se emplean los dos tipos de energía, el efecto combinado de ambas se conoce como potencia aparente, siendo ésta la que se suministra, mide, maneja y controla en las redes eléctricas.

Figura 12. **Triángulo de potencias**



Fuente: Curso Taller de Promotores de Eficiencia de Energía Eléctrica CNEE, Módulo III.

Por definición, el Factor de Potencia (FP) indica la cantidad de energía total que se ha convertido en trabajo. El valor ideal del factor de potencia es la



unidad, ya que implica que no existen pérdidas o que toda la energía consumida ha sido transformada en trabajo útil. A medida que el ángulo sea menor, se reduce la potencia reactiva hasta alcanzar un punto en que dicho ángulo sea cero, la potencia reactiva será igual cero. Tal situación permite que toda la energía manejada se convierta íntegramente en trabajo productiva.

$$\text{Factor de Potencia} = kW / kVA = \cos\theta$$

El factor de potencia también puede ser expresado en términos de las potencias activas y reactivas de la siguiente relación:

$$FP = \cos\theta = kW / \sqrt{(kW^2 + kVAR^2)}$$

La carga de una instalación está constituida por equipos eléctricos fabricados a base de bobinas, por esta razón es normal encontrar que predomine la carga inductiva sobre la capacitiva, es decir, generalmente la corriente está atrasada con respecto al voltaje, por lo que es más común escuchar hablar del factor de potencia atrasado.

Consecuencias de un factor de potencia bajo:

- Incremento de pérdidas en las líneas de transmisión o distribución de energía eléctrica, incremento en las pérdidas del equipo alimentado
- Deficiencia en la regulación del voltaje
- Penalización económica por parte de la compañía suministradora

## **7.1. Compensación del factor de potencia**

Las instalaciones eléctricas cuya carga está compuesta principalmente por motores de inducción tienen un factor atrasado, por esta razón resulta necesario compensar la carga inductiva con carga capacitiva.

La solución sencilla es la colocación de bancos de capacitores que proporcionan los kVA's (*kilo Volts Amperes*) reactivos necesarios para que el factor de potencia esté por encima de lo estipulado en el contrato de suministro. De hecho, las empresas suministradoras de energía eléctrica utilizan este sistema para compensar el factor de potencia de su red de transmisión y distribución.

Otra forma de compensar el factor de potencia en el caso de plantas industriales, es utilizar motores síncronos y/o de alta eficiencia en lugar de motores estándar de inducción, pero una vez definidos los kVA reactivos necesarios, el problema requiere la realización de un análisis económico.

## **7.2. Formas de compensación**

Tomando en cuenta la potencia y el lugar de emplazamiento de los capacitores, la compensación de potencia reactiva se puede realizar de tres formas: individual, por grupos y central con sistema automático de regulación.

### **7.2.1. Individual**

Consiste en la conexión directa de los capacitores al equipo (motor, transformador, alumbrado), cuyo factor de potencia se requiere mejorar. El capacitor se ubica directamente en el consumidor y a veces se puede conectar

sin aparatos de maniobra ni fusibles, actuando y protegiéndose junto con el equipo.

Desde el punto de vista técnico es la solución óptima, ya que:

- Reduce el costo de la facturación eléctrica
- Permite una potencia adicional, descargando la línea de alimentación del equipo cuyo factor de potencia se quiere mejorar
- Produce mejoras en los niveles de la tensión dentro de la instalación
- Reduce las pérdidas en la instalación

Por el contrario tiene como desventajas:

- Un mayor costo de instalación, ya que no tiene en cuenta el factor de simultaneidad
- Al fabricarse los capacitores con potencias normalizadas resulta difícil ajustar exactamente la potencia reactiva para cada equipo
- Un mayor costo de los capacitores.

### **7.2.2. Compensación por grupos**

Cuando hay grupos de pequeños consumidores conectados conjuntamente y situados en emplazamientos diferentes, es más económico compensarlos con un conjunto de varios módulos formados de capacitores y los correspondientes contactores, es lo que se conoce como banco de capacitores. Se necesita menos potencia reactiva que en el caso de la compensación individual y suele ser más económico. Los bancos pueden controlarse manualmente o de forma automática.

### **7.2.3. Compensación central con sistema automático de regulación**

En el caso de grandes instalaciones eléctricas, con un gran número de consumidores de potencias diferentes y de conexión variable, si se hiciera compensación individual siempre habría una gran parte de los capacitores instalados sin utilizar.

Algunos bancos automáticos de capacitores cuentan con un regulador electrónico de potencia reactiva, con un microprocesador de ajuste automático de los reactivos requeridos a compensarse, conmutando el número de capacitores necesarios para tener siempre un nivel de potencia reactiva. Estos dispositivos requieren de la alimentación de voltaje y corriente de línea para determinar los reactivos a compensarse. Así se puede mantener un factor de potencia (dentro de ciertos límites) constante y con un valor elevado.

Normalmente se construyen para bancos de 6 a 12 unidades, aunque pueden utilizarse con cualquier número menor, y generalmente admiten que todos los capacitores sean iguales o que una unidad sea de la mitad de capacidad para aumentar los escalones de potencia con menos elementos.

Se pueden utilizar capacitores para compensar la potencia reactiva consumida en el transformador, sin tener en cuenta el resto de la red. Dado que los transformadores requieren del 3 por ciento al 7 por ciento de su potencia nominal en potencia de magnetización, suele tomarse para su compensación individual de transformadores, una potencia reactiva del orden de 10 por ciento y conectados al secundario.

### 7.3. Cálculo para optimización del factor de potencia

Se tiene un equipo electro sumergible para extracción de crudo a una alimentación de 2 840 voltios y 55 hercios de frecuencia, este consume 250 kilovatios con un factor de potencia de 0,82 en atraso. Calcular el valor para el banco de capacitores que se requiere para corregir el factor de potencia a 0,96 con conexión directa al motor.

$$FP = \cos\theta \Rightarrow \theta = \cos^{-1}(F.P)$$
$$\theta_1 = \cos^{-1}(0,82) = 34,92 \quad \theta_2 = \cos^{-1}(0,96) = 16,26$$

Potencia Reactiva Q; Potencia Activa P

$$Q_c = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 250\,000(\tan (34,92) - \tan (16,26)) = 101\,616 \text{ kVAR}$$

$$\text{Capacitor} = Q_c / (\omega V^2)$$

Donde:  $\omega = 2\pi \cdot \text{frecuencia}$  y  $V = \text{Voltaje}$

$$\text{Capacitor} = 101\,616 / (2\pi \cdot 55 \cdot 2\,840^2) = 36,46 \mu\text{Faradios}$$



## **8. ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TARIFAS**

Es evidente que ante el incremento acelerado de la energía eléctrica es prioritaria la necesidad de reducir su impacto en los costos de producción, una de las opciones más adecuadas para lograrlo es controlar la demanda máxima de potencia eléctrica y administrar el uso de la energía eléctrica.

El conocimiento de la curva de demanda es de gran utilidad para definir las posibilidades de controlarla y mantener a su nivel mínimo la facturación mensual por el servicio eléctrico y por otra parte para utilizar las posibilidades de ahorrar energía eléctrica cuando se tienen desperdicios de la misma.

Para controlar la demanda máxima es importante conocer cuáles son las cargas o equipos básicos para el desarrollo de las actividades en el proceso o trabajo, y aquellas que operan de forma periódica o esporádica. Por otro lado, debe medirse la potencia que aporta cada una de estas cargas a la demanda máxima de facturación, lo cual evitara actividades simultáneas no necesarias y facilitara disminuir el valor de la demanda (cuando el cobro de la energía es por demanda).

### **8.1. Sistema de administración de energía**

Los avances tecnológicos en microprocesadores y sus aplicaciones están cambiando continuamente la definición de los sistemas de administración de la energía. Básicamente estos sistemas combinan las funciones de un controlador programable, controlador de demanda y cualquier número de equipos

individuales, iluminación, y controles térmicos y también incluye la posibilidad de monitoreo, manejando señales de sensores de distancia.

El tipo de sistema similar o parte de un sistema de control distribuido, puede usar las señales de los sensores, para optimizar las decisiones energéticas relacionadas con la operación de los equipos, especialmente en ventilación, calefacción y refrigeración. Dependiendo de su potencia de computación, tales sistemas pueden manejar en realidad miles de puntos en diferentes edificios o naves. El sistema puede incluir el área de seguridad del edificio y monitoreo también, así como alarmas contra incendio. Gran variedad de tipos de sistemas, software, tamaños, interfaces y distribución, mantienen un desarrollo dinámico continuo de la tecnología, estos sistemas son fundamentalmente similares.

Los avances tecnológicos en microprocesadores y sus aplicaciones están cambiando continuamente la definición de los sistemas de administración de la energía. Básicamente estos sistemas combinan las funciones de un controlador programable, controlador de demanda y cualquier número de equipos individuales, iluminación, y controles térmicos y también incluye la posibilidad de monitoreo, manejando señales de sensores de distancia.

El tipo de sistema similar o parte de un sistema de control distribuido, puede usar las señales de los sensores, para optimizar las decisiones energéticas relacionadas con la operación de los equipos, especialmente en ventilación, calefacción y refrigeración. Dependiendo de su potencia de computación, tales sistemas pueden manejar en realidad miles de puntos en diferentes edificios o naves. El sistema puede incluir el área de seguridad del edificio y monitoreo también, así como alarmas contra incendio. Gran variedad



de tipos de sistemas, software, tamaños, interfaces y distribución, mantienen un desarrollo dinámico continuo de la tecnología.

### **8.1.1. Controlador de la demanda**

Un controlador de demanda es un dispositivo que actúa sobre una señal, que temporalmente apaga cargas eléctricas predeterminadas, para mantener la demanda máxima bajo control. El controlador, apaga o establece ciclos de trabajo a las cargas cuando la demanda alcanza un valor preestablecido. El punto prefijado debe ser cuidadosamente seleccionado, para que no se afecte la producción o necesidades de operación.

Existe una gran variedad de controladores de demanda disponibles, con ciertos grados de sofisticación, complejidad y costo. La unidad más básica tiene los siguientes componentes:

- Transformadores de corriente, para proveer una señal de entrada desde el suministro de la comisión Federal de Electricidad al controlador de demanda.
- Transductores, para convertir la señal de entrada en watts a una señal en milivolts para el panel lógico.
- Controlador de la carga de demanda, para monitorear los niveles de potencia a la entrada y actuar cuando estos se aproximen al nivel de demanda máxima.

- Panel relevador, para enviar señales de control a las cargas conectadas; el panel lógico envía señales a éstos relevadores de corriente los cuales en su momento, controlan el equipo.

Las unidades más sofisticadas añaden varios parámetros, para ofrecer un equipo más poderoso y versátil:

- Controles de reloj, que son usados para seleccionar varias cargas sobre una base de tiempo, y también para controlar tiempo máximo que una carga está apagada.
- Programador de ciclos de trabajo, para determinar los tiempos y períodos del ciclo de apagado de una carga durante diferentes horas de operación.
- Programador de la hora del día, que añade la posibilidad de apagar equipos independientemente de la demanda.

### **8.1.2. Controles de encendido y apagado**

Existe una gran variedad de dispositivos simples y de bajo costo, que usualmente controlan una sola carga para apagado/encendido y se pueden clasificar dentro de varias categorías para una utilización eficiente de energía eléctrica en un sistema o equipo.

- Controles de tiempo, los tipos mecánicos y más recientemente los electrónicos, controlan el encendido y apagado de equipo específico a tiempos preestablecidos durante un día o semana.

- Relevadores, pueden conectarse al cableado del equipo auxiliar de un equipo primario de manera que, cuando se apaga una máquina de proceso, su ventilador, o iluminación o flujo de agua se suspende automáticamente.
- Relevadores de fotocelda, empleados especialmente para sistemas de iluminación para encender en la oscuridad y apagar cuando la iluminación natural sea adecuada.
- Sensores infrarrojos o ultrasónicos de presencia, que perciben la presencia o ausencia humana y pueden apagar o encender la iluminación de una área o algún equipo.

### **8.1.3. Controles lógicos programables (PLC)**

Los controladores programables son dispositivos que emplean microprocesadores. Se emplean principalmente equipos que tienen cargas cíclicas y sustituyen a los relevadores electromecánicos.

También son usados con frecuencia para controlar equipo individual con el método de encendido/apagado o a una hora específica del día.

El tiempo de arranque o paro de cada punto puede controlarse individualmente o monitorearse, hay disponibles relojes de 7 días o de un año completo, de modo que el equipo puede desconectarse en fines de semana o días festivos. Estos sistemas de control son fácilmente programables o reprogramables y tienen un sistema altamente confiable.

## 8.2. Tarifas eléctricas

Antes de hacer cálculos es importante conocer los costos de la energía; en el país existen diversos tipos de tarifas para los distintos servicios que se tienen como servicios de distribución dirigida al usuario final, servicios de transmisión y servicios de generación.

Dentro de los servicios de distribución se presentan varios tipos de tarifas; residencial, general, industrial, bombeo de agua, preferencial, pequeño comercio o industrial, mediana tensión y tarifas horarias. En la figura 27 se muestran las tarifas a diciembre 2013 según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Tabla XVI. Tarifas energía eléctrica – diciembre 2013

| <b>Tarifa: social – TS</b>                                     | <b>Valor</b> |
|--|--------------|
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                           | Q 9,8600     |
| Cargo por energía (Q/kWh)                                      | Q 1,7139     |
| <b>Tarifa: baja tensión simple - BTS</b>                       | <b>Valor</b> |
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                           | Q 9,8600     |
| Cargo por energía (Q/kWh)                                      | Q 1,7746     |
| <b>Tarifa: baja tensión con demanda fuera de punta - BTDFp</b> | <b>Valor</b> |
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                           | Q 226,7798   |
| Cargo unitario por energía (Q/kWh)                             | Q 1,3841     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW-mes)                  | Q 23,8200    |
| Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)              | Q 28,9407    |

Continuación de la tabla XVI.

| <b>Tarifa: baja tensión con demanda en punta - BTDp</b>         | <b>Valor</b> |
|---|--------------|
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                            | Q 226,7798   |
| Cargo unitario por energía (Q/kWh)                              | Q 1,3729     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW-mes)                   | Q 52,0606    |
| Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)               | Q 77,5210    |
| <b>Tarifa: media tensión con demanda fuera de punta - MTDfp</b> | <b>Valor</b> |
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                            | Q 788,7993   |
| Cargo unitario por energía (Q/kWh)                              | Q 1,2985     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW-mes)                   | Q 27,5015    |
| Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)               | Q 12,1746    |
| <b>Tarifa: media tensión con demanda en punta - MTDp</b>        | <b>Valor</b> |
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                            | Q 788,7993   |
| Cargo unitario por energía (Q/kWh)                              | Q 1,2916     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW-mes)                   | Q 25,5990    |
| Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)               | Q 12,4774    |
| <b>Tarifa: baja tensión horaria - BTH</b>                       | <b>Valor</b> |
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                            | Q 226,7798   |
| Cargo unitario por energía en punta (Q/kWh)                     | Q 1,3869     |
| Cargo unitario por energía intermedia (Q/kWh)                   | Q 1,3504     |
| Cargo unitario por energía en valle (Q/kWh)                     | Q 1,4519     |
| Cargo unitario por potencia de punta (Q/kW-mes)                 | Q 28,5937    |
| Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)               | Q 41,6748    |

Continuación de la tabla XVI.

| <b>Tarifa: media tensión horaria - MTH</b>                           | <b>Valor</b> |
|--|--------------|
| Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)                                 | Q 788,7993   |
| Cargo unitario por energía en punta (Q/kWh)                          | Q 1,3013     |
| Cargo unitario por energía intermedia (Q/kWh)                        | Q 1,2668     |
| Cargo unitario por energía en valle (Q/kWh)                          | Q 1,3626     |
| Cargo unitario por potencia de punta (Q/kW-mes)                      | Q 28,7298    |
| Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)                    | Q 14,2999    |
| <b>Tarifa: alumbrado público - AP</b>                                | <b>Valor</b> |
| Cargo unitario por energía (Q/kWh)                                   | Q 1,9496     |
| <b>Tarifa: Peaje en función de transportista baja tensión - PBT</b>  | <b>Valor</b> |
| Cargo unitario por pérdidas de energía en punta (Q/kWh)              | Q 0,1024     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía intermedia (Q/kWh)            | Q 0,0997     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía en valle (Q/kWh)              | Q 0,1072     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW)                            | Q 79,0316    |
| <b>Tarifa: peaje en función de transportista media tensión – PMT</b> | <b>Valor</b> |
| Cargo unitario por pérdidas de energía en punta (Q/kWh)              | Q 0,0252     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía intermedia (Q/kWh)            | Q 0,0245     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía en valle (Q/kWh)              | Q 0,0264     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW)                            | Q 24,0419    |
| <b>Tarifa: alumbrado público - AP</b>                                | <b>Valor</b> |
| Cargo unitario por energía (Q/kWh)                                   | Q 1,9496     |

Continuación de la tabla XVI.

| <b>Tarifa: Peaje en función de transportista baja tensión - PBT</b>  | <b>Valor</b> |
|--|--------------|
| Cargo unitario por pérdidas de energía en punta (Q/kWh)              | Q 0,1024     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía intermedia (Q/kWh)            | Q 0,0997     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía en valle (Q/kWh)              | Q 0,1072     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW)                            | Q 79,0316    |
| <b>Tarifa: peaje en función de transportista media tensión – PMT</b> | <b>Valor</b> |
| Cargo unitario por pérdidas de energía en punta (Q/kWh)              | Q 0,0252     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía intermedia (Q/kWh)            | Q 0,0245     |
| Cargo unitario por pérdidas de energía en valle (Q/kWh)              | Q 0,0264     |
| Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW)                            | Q 24,0419    |

Fuente: <http://www.cnee.gob.gt/calculadora/index3.php>. Consulta: 22 de diciembre de 2013.

De acuerdo a lo establecido a la Ley General de Electricidad de Guatemala, a partir de 1998, los usuarios, se clasifican en:

Usuario regulado: son los usuarios cuyo consumo es menor a 100 kilovatios (kW).

Usuario no regulado o gran usuario: es un consumidor cuya demanda de potencia excede 100 kilovatios (kW), y está registrado como tal en el Ministerio de Energía y Minas. En este caso las condiciones de suministro (potencia y energía) son pactadas con el distribuidor o cualquier otro suministrador (comercializador). El pago por el uso de la red de distribución o peaje en función

de transportista si está regulado, y está establecido por CNEE en las resoluciones donde se establecen los pliegos tarifarios correspondientes.

Así, las tarifas dependen únicamente del nivel de tensión (MT media tensión y BT baja tensión) en que está conectado el usuario, y si se consume en punta o fuera de punta, no en función del uso final de la energía. En ese sentido se clasifican en tres categorías:

Tabla XVII. **Categorías de usuarios de energía eléctrica**

| CATEGORÍA | DESCRIPCIÓN  | DEMANDA DE POTENCIA                  | TIPO DE TARIFA APLICADA   |
|-----------|--|--------------------------------------|---|
| A         | Usuarios con servicio en baja tensión  | Menor o igual a once kilovatios (kW) | Baja Tensión Simple ( <b>BTS</b> ); Baja Tensión Simple Social ( <b>BTSS</b> ).   |
| B         | Usuarios con servicio en baja o media tensión *  | Mayor de 11 kilovatios (kW)          | Baja Tensión con Demanda en Punta ( <b>BTDP</b> ), Baja Tensión con Demanda fuera de Punta ( <b>BTDFP</b> ), Baja Tensión Horaria ( <b>BTH</b> ), Media Tensión con Demanda en Punta( <b>MTDP</b> ), Media Tensión con Demanda fuera de Punta( <b>MTDFP</b> ), Media Tensión Horaria( <b>MTH</b> ). |
| C         | Usuarios con servicio en baja o media tensión que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación vigente para obtener la calidad de <b>gran usuario</b> |                                      | En este caso las condiciones de suministro (potencia y energía) son pactadas con el distribuidor o cualquier otro suministrador (comercializador). No tiene tarifa máxima. Solamente se le define un pago máximo por el uso de la red, denominado peaje en función de transportista                 |

Fuente: <http://www.cnee.gob.gt/xhtml/usuario/Categorias%20Tarifarias.html>. Consulta 23 de diciembre de 2013.

Algunas consideraciones generales acerca de las categorías tarifarias:

La tarifa social es una tarifa especial con carácter social, aplicada al suministro de energía eléctrica dirigida a usuarios regulados conectados en baja



tensión sin cargo por demanda, de acuerdo a lo definido en la Ley General de Electricidad y su Reglamento, y la Ley de Tarifa Social. Se reconoce como usuario de tarifa social a todo usuario que consuma la cantidad igual o inferior a 300 kilovatios por hora en un período de facturación mensual, o que tenga un consumo promedio diario de hasta 10 kilovatios por hora.

Los usuarios de la categoría B podrán elegir libremente su propia tarifa dentro de las opciones tarifarias aprobadas por la Comisión en los pliegos tarifarios. En el caso que el usuario no pueda determinar la tarifa adecuada a su tipo de consumo de energía eléctrica, la distribuidora deberá aplicar la tarifa que represente el mayor beneficio para el usuario, con base a sus características de consumo.

Las Tarifas Horarias en Baja o Media tensión (BTH o MTH) son aquellas cuyo medidor permite discriminar el consumo por horas, y tienen precios diferenciados de energía por banda horaria. Las bandas horarias correspondientes a los períodos de máxima (punta), media (intermedia) y mínima (valle) son las definidas en el artículo 87 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista o las que en el futuro determine la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.



## **9. MÉTODOS PARA EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD EN UN PROYECTO DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

La globalización de las actividades industriales y comerciales exige la racionalización de los recursos naturales y económicos como meta en la operación de las diferentes tareas que se desarrollan.

La apreciación técnica de los diferentes programas de productividad, como el caso de ahorro de energía, debe complementarse con la evaluación financiera y económica para obtener un cuadro completo de beneficios, limitaciones y desventajas.

Las inversiones se pueden destinar a empresas nuevas y/o en operación y para fines de cálculo se clasifican en fijas, diferidas y capital de trabajo.

Las dos primeras se desembolsan en la etapa de instalación y pruebas y la última cuando la empresa entra en operación.

La suma de la inversión fija, diferida y el capital de trabajo representan la inversión total de capital de un proyecto.

### **9.1. Etapas principales de un proyecto**

En el desarrollo de un proyecto intervienen varios factores, algunos de cuales pueden resultar muy variables para la combinación de diferentes escenarios económicos. Asimismo, un proyecto que en determinadas circunstancias no es favorable, cuando cambia el entorno puede resultar con

una valoración atractiva o muy atractiva; o tal vez se tenga el caso contrario un proyecto interesante económicamente se traduzca en uno inviable cuando las circunstancias han cambiado. Es por eso necesario conocer las etapas principales de un proyecto.

- Identificación de la idea
- Tecnología de proceso y producto
- Costumbres locales
- Materia prima
- Infraestructura
- Evaluación técnica y financiera
- Anteproyecto (diagnóstico energético – primer nivel)
- Perfil (diagnóstico energético – segundo nivel)
- Final (diagnóstico energético – tercer nivel)

Las estimaciones de la inversión dependen fundamentalmente del nivel y profundidad de información y del grado de avance en el estudio del proyecto.

Limitaciones para su implementación:

- Fuentes de información
- Recursos financieros
- Tecnología de proceso y producto
- Tecnología de administración
- Costumbres locales
- Materia prima
- Infraestructura

Los proyectos de inversión se dirigen hacia tres vertientes principales:

- Inversiones fijas
  - Terreno
  - Maquinaria y equipo principal
  - Maquinaria y equipo auxiliar
  - Obra civil
  - Montaje electromecánico
  - Instrumentación
  - Pruebas y puesta en marcha
  
- Inversiones diferidas
  - Constitución de la empresa
  - Patentes y marcas
  - Capacitación del personal
  - Ingeniería (básica, detalle, presupuesto y programa)
  - Asesoría y supervisión
  
- Capital de trabajo o recursos monetarios para:
  - Pago de nóminas
  - Cuentas por cobrar
  - Pago de proveedores
  - Servicios
  - Combustibles
  - Materias primas

## **9.2. Procedimientos de reemplazo de equipo y maquinaria**

La formulación de un plan de reemplazo juega un papel muy importante para establecer la tecnología básica y el progreso económico de una empresa.

Un reemplazo prematuro o indebido origina en la empresa una disminución en su capital, por lo tanto una disminución en la disponibilidad de dinero para emprender proyectos de inversión más rentables.

Por otra parte, un reemplazo retardado origina costos adicionales de operación y mantenimiento para la empresa.

Es por estas razones que toda empresa debe de establecer una política de reemplazo para cada uno de los activos que utiliza.

Causas que originan el estudio de reemplazo:

- Reemplazo por insuficiencia
- Reemplazo por mantenimiento excesivo
- Reemplazo por eficiencia decreciente
- Reemplazo por antigüedad (obsolescencia)
- Reemplazo por combinación de factores

### **9.2.1. Tipos de reemplazo**

Los estudios de reemplazo son de dos tipos generales: el primero busca determinar por adelantado el servicio de vida económica (período durante el cual se optimiza el valor anual equivalente) del activo, y el segundo analiza si conviene mantener el activo viejo (algunas veces llamado defensor) o reemplazarlo por uno nuevo (algunas veces llamado retador).

### **9.2.2. Cálculo de la vida económica de activos**

Para determinar la vida económica de un nuevo activo se deben de considerar los siguientes factores: inversión inicial, costos inherentes del activo (operación y mantenimiento) y costos relativos a modelos mejorados.

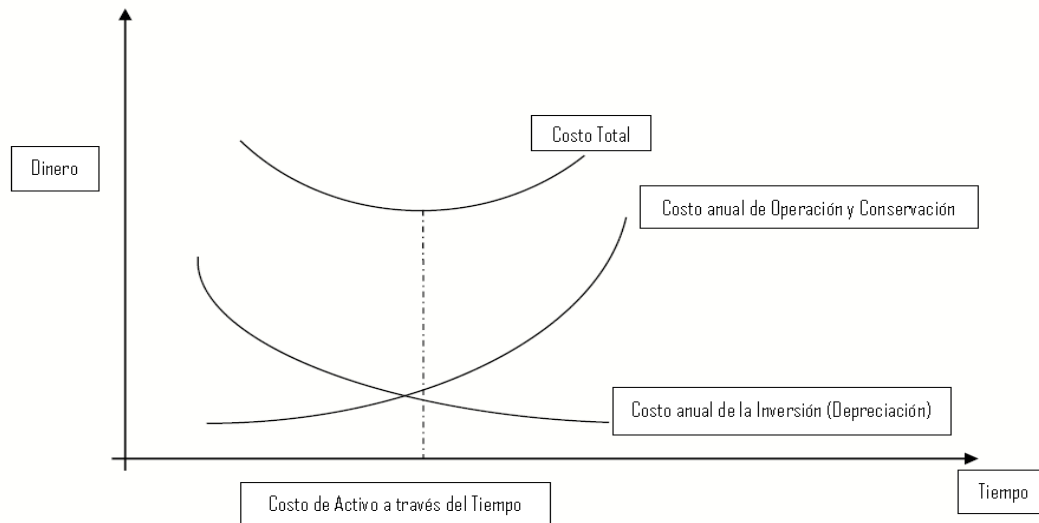
Los costos más difíciles de evaluar de los anteriormente mencionados son sin duda los costos relativos a modelos mejorados. Es muy difícil predecir con exactitud para tiempos futuros muy distantes, el grado de mejoramiento tecnológico que sufrirá un activo. Sin embargo, este costo es muy importante considerarlo en estudios de reemplazo de activos sujetos a obsolescencia muy acelerada.

Por otra parte, hay que tener presente que los costos anteriores son costos de oportunidad (lo que se deja de ahorrar–ganar por no tener el mejor activo disponible en el mercado) y por lo tanto no constituyen un desembolso real para la compañía.

### **9.2.3. Análisis de reemplazo del activo actual**

En el inciso anterior se analizó el problema de determinar por adelantado la vida económica de un activo. Este tipo de problema surge cada vez que se desea adquirir un nuevo activo por primera vez. Sin embargo, existen ocasiones en las cuales se tiene actualmente un activo en uso, y lo que se desea es determinar el tiempo adicional que se debe permanecer con dicho activo, es decir, se trata de determinar su fecha de reemplazo. Puesto que en este tipo de situaciones el principal problema es fijar el horizonte de planeación.

Figura 13. Costo de activo a través del tiempo



Fuente: Curso Taller Promotores de Ahorro de Energía FIDE.

### 9.3. Aspectos de evaluación técnica y económica

La evaluación financiera del proyecto es un análisis micro económico, tomando como objeto de investigación a la unidad productiva, considerando únicamente los efectos directos en costos, gastos e ingresos valorados a precios de mercado.

Los resultados de evaluación se expresan en un conjunto de indicadores que miden los beneficios esperados y las ventajas de realizar la inversión, a través del costo de oportunidad que proporcionan los elementos para decidir el destino de los recursos que se arriesgan o se destinan a otra actividad, o bien se dejan en donde están.



## Elementos a evaluar:

- Monto de inversión (presupuesto del proyecto):
  - Ingeniería:
    - Tecnología de proceso
    - Tecnología de equipo y maquinaria
    - Proceso
    - Mecánica
    - Civil
    - Eléctrica
    - Instrumentación
  - Gerencia y programación
  - Especificaciones de equipo
  - Presupuesto de equipo, maquinaria, materiales y mano de obra
  - Calendarización de actividades
  - Construcción civil
  - Montaje electromecánico
  - Pruebas y arranque
- Estructura de ingresos y egresos (flujo de efectivo)
- Horizonte del proyecto
- Período de recuperación
- Rentabilidad:
  - TREMA
  - Valor Presente Neto y/o Valor Actual Neto
  - Tasa interna de rendimiento
  - Costo beneficio
- Valores residuales y recuperaciones
- Disponibilidad de capital

#### **9.4. Cálculo de potenciales de ahorro energético**

El ahorro energético se deriva de la implementación de programas de productividad que incrementan la eficiencia de los procesos de manufactura y la comercialización de los servicios.

Los programas de ahorro de energía implican normalmente incremento en la productividad, eficiencia de proceso y aumento de la rentabilidad de la inversión.

Los potenciales de ahorro energético se presentan a través de mediciones de eficiencia de motores eléctricos, subestaciones y alumbrado interrelacionado con la eficiencia individual de los equipos de proceso, tales como: bombas, compresores y luminarias, afectando el factor de potencia y las tarifas comerciales.

Lo anterior requiere de mediciones de corriente eléctrica, voltaje y consumo de potencia de las diferentes etapas del proceso productivo a través de varios horarios.

La interpretación de los datos y la generación de medidas de ahorro de energía muestran el posible impacto de ahorro energético a través de Diagnósticos Energéticos de primero, segundo y tercer nivel.

#### **9.5. Criterios de evaluación**

Se tienen prácticamente infinitas opciones de inversión, y por otra, los recursos son escasos.

Con base en que los proyectos de inversión son de índole muy diversa, algunos son urgentes, otros improductivos pero necesarios, otros complementarios. El problema de decidir en qué invertir presenta una amalgama de matices difíciles de analizar.

Se puede separar en tres tipos de mediciones para fines de análisis:

- Medir el rendimiento de cada uno de los proyectos de inversión, es decir, darle un valor a cada proyecto para poder ordenarlo de acuerdo a su rentabilidad y/o período de recuperación:
  - El proyecto A se paga en 5 meses
  - El proyecto B se paga en 2 años
  - El proyecto C se paga en 4 años
  - El proyecto A con rendimiento del 22 por ciento
  - El proyecto B con rendimiento del 14 por ciento
  - El proyecto C con rendimiento de 10 por ciento
  
- Medir el costo de la obtención de recursos, es decir, el costo del financiamiento de las distintas fuentes a que se tiene acceso, lo que se conoce como: costo de capital
  - El financiamiento a través de préstamos bancarios
  - El financiamiento a través de recursos propios y/o accionistas
  - El financiamiento por medio de utilidades
  
- Selección de los proyectos de acuerdo con las características que presentan las distintas posibilidades de inversión, en base a costo de oportunidad, productividad y prioridad.

## **9.6. Métodos de evaluación financiera de proyectos**

La evaluación de proyectos a través de métodos matemáticos financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas en el largo plazo. Las técnicas de evaluación económica son herramientas de uso general. Lo mismo puede aplicarse a inversiones industriales, de hotelería, de servicios, que a inversiones en informática.

### **9.6.1. Concepto de rentabilidad**

Este término es muy usado para reflejar la conveniencia de llevar a cabo una inversión.

Sin embargo, la definición de que es rentable se relaciona con dos grandes componentes:

- Las utilidades o beneficios vs. las inversiones mismas, con relación a un patrón establecido o definido previamente.
- La rentabilidad se entiende como la búsqueda u obtención de máximas utilidades con respecto a un monto de inversión establecido.

La maximización de esta relación aumenta la rentabilidad con respecto al parámetro fijado, esto es muchos beneficios con pocos desembolsos.

Las utilidades o beneficios pueden ser de tipo financiero y/o social y el parámetro de comparación generalmente es el costo de oportunidad.

Para que las inversiones sean rentables deben:

- Aumentar ingresos y/o reducir costos
- Estar protegidas con respecto a la inflación obteniendo beneficios por encima de ésta
- La recuperación del capital e intereses se logre en el menor periodo de tiempo

Lo anterior implica que en cualquier inversión está asociado un riesgo.

La rentabilidad se expresa como una tasa de rendimiento, generalmente anual, la cual revela las unidades monetarias obtenidas por cada número desembolsadas, anotada en porcentaje.

La tasa de rendimiento es equivalente a una tasa de interés.

Suponiendo que existan condiciones de estabilidad económica, entonces la Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA) o Tasa de Rendimiento Esperada (TRE) de cualquier inversionista que decida realizar una empresa será:

$$\text{TREMA} = i_b + r$$

Donde:

$i_b$  = tasa (libre de riesgo) del sistema bancario a largo plazo

$r$  = la prima de riesgo por llevar a cabo una empresa expresada como puntos porcentuales

El nivel de riesgo puede ser: bajo, medio o alto, el cual es una función de:

- Las circunstancias económicas, sociales y políticas
- Plazo u horizonte de la inversión
- Horizonte de proyecto
- Beneficios y de la forma en que maduren estos con respecto al tiempo
- Tipo de producto o servicio que se trate de comercializar
- Sector económico
- Ambito jurídico que atañe a la empresa
- Situación (estructura) financiera de empresa vs. inversiones y financiamiento y/o participación con capital de los accionistas

## **9.7. Métodos de evaluación de inversiones**

La evaluación de inversiones de capital es el estudio y aceptación de proyectos de aplicación de recursos, cuyos beneficios se esperan recibir en un momento futuro. Los métodos para evaluar inversiones, son necesarios para evaluar el riesgo, liquidez y rentabilidad en un proyecto.

### **9.7.1. Contable**

En este método los indicadores que tienen relación con la evaluación de nuevas inversiones o proyectos son la Rentabilidad Contable (RC) y el Período de Recuperación del Capital (PRC), ambos calculados a partir de los conceptos de utilidad neta, flujo de fondos y activos totales.

La RC es una relación entre la utilidad neta y las inversiones iniciales en activos fijos, diferidos y circulantes o inversiones totales. Sin embargo, debido a que existe una utilidad neta para cada año calculado en el estado de resultados

proforma, se genera, como ya se comentó una RC anual. Para evitar esto y obtener una RC para todo el período se promedian las utilidades netas quedando el cociente en la siguiente forma:

$$RC = \frac{\text{Utilidad Neta Promedio}}{\text{Activos Totales}}$$

La RC es un indicador aceptable para comparar la actuación de una empresa en un año con respecto a otro o con relación a una meta, la facilidad de su cálculo lo hace útil para conocer una primera aproximación de lo que será la rentabilidad en la elaboración de perfiles de inversión pero no es recomendable para decidir ésta en las etapas.

Período de Recuperación del Capital (PRC) es el otro indicador contable que apoya la evaluación de inversiones el cual se define como al período de tiempo durante el cual la erogación de capital es recuperada a partir de los flujos de recursos monetarios. (Flujo de efectivo).

### **9.7.2. Flujos descontados**

Este método contrarresta las deficiencias del anterior, principalmente el problema de valorar el momento en que se presentan los ingresos o los costos y gastos. Para comparar flujos que se encuentran ubicados en diferente momento en el tiempo, aun siendo el mismo valor, es necesario efectuar la comparación en un solo momento. Para ubicar los flujos en el mismo momento del tiempo se procede a llevar todos los valores al presente, siendo éste momento elegido en la mayoría de los casos.

Para traer los valores futuros al presente se utiliza el procedimiento de actualización, que consiste en descontar los valores por medio de una tasa de

interés, aplicando las fórmulas de valor presente vistas en el tema de matemáticas financieras.

Una vez hecho esto, todos los valores de costos y beneficios se encuentran en el presente, por lo que son perfectamente comparables, ya que a través de su actualización es que ha sido considerada la temporalidad en que se aparecieron, así como el peso relativo de cada uno de ellos.

Los principales indicadores de este método son:

- Valor Presente Neto (VPN) y/o Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Rendimiento (TIR)
- Relación Beneficio-Costo

#### **9.7.2.1. Valor Presente Neto (VPN)**

Consiste en transformar a valor presente, vía una tasa de interés todos los componentes del flujo de efectivo durante el período de análisis del proyecto, la tasa de actualización debe ser superior al costo de capital, a fin de satisfacer el costo de oportunidad que tendría el inversionista.

El VPN representa, en valor presente, la magnitud absoluta en que los ingresos equivalentes de un flujo de efectivo superan a, o son superados por, los egresos equivalentes de dicho flujo. Es decir, sí el valor presente neto del flujo efectivo es positivo, significa que los ingresos son mayores que los costos y que el rendimiento que se espera obtener del proyecto de inversión es mayor que el rendimiento mínimo establecido por la empresa. En este caso el proyecto debe emprenderse. Para usar esta técnica en la evaluación, los ingresos o beneficios deben definirse como flujos positivos de dinero y con valor negativo los egresos o desembolsos de dinero.



$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{m_t}{(1+i)^t}$$

ó

$$VPN = VP \cdot \text{beneficios} - VP \cdot \text{egresos}$$

Donde:

mt: es el margen de contribución en un período de tiempo t.

i: es la tasa de actualización establecida por el inversionista.

n: Es el número de intervalos de tiempo sobre los cuales se analiza la inversión, su valor puede estar definido por el tiempo de vida del equipo.

Cuando el VPN toma un valor igual a 0, k pasa a llamarse TIR (Tasa Interna de Retorno). La TIR es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

#### **9.7.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) de una inversión es el promedio exacto de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para reinvertir. En términos simples, diversos autores la conceptualizan como la tasa de descuento con la que el Valor Actual Neto o Valor Presente Neto (VPN) es igual a cero.

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la

TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto expresada por la TIR supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

La tasa de retorno se determina de manera iterativa, se propone una tasa de interés y se determina el VPN del flujo de efectivo del proyecto, si el resultado del valor presente es positivo,  $VPN (tasa 1) > 0$ . Entonces se proponen otras tasas de interés hasta obtener un VPN negativo, es decir,  $VPN (tasa 2) < 0$ .

En caso de que el resultado del VPN sea negativo con la primera tasa de interés propuesta ( $VPN (Tasa 1) < 0$ ), entonces se trabaja de manera inversa.

Finalmente, la TIR se determina interpolando entre los VPN resultantes para cada tasa de interés propuesta para un  $VPN = 0$ .

$$TIR = (Tasa_1 - ((\frac{VPN_1}{VPN_1 - VPN_2}) \times (Tasa_1 - Tasa_2)))$$

Para que la inversión sea rentable se debe tener una tasa de rendimiento o Tasa Interna de Retorno (TIR) mayor que la tasa de descuento propuesta por el inversionista (TREMA).

Por último, la TIR no se puede calcular si se tiene un proyecto de inversión con un flujo de efectivo formado en su totalidad por costos, o bien por ingresos.

### **9.7.2.3. Tasa de Retorno Mínima Aceptada (TREMA)**

Esta tasa debe ser calculada considerando la tasa de inflación existente en el país, ya que al tomarla como parámetro se asegura que el capital invertido no perderá su valor adquisitivo; y además se debe considerar un premio al riesgo por invertir en el proyecto.

Por el hecho que el capital requerido para la inversión en la empresa proviene de diferentes fuentes, propio y préstamo bancario, se requiere realizar un análisis para cada uno, determinando para ello su propia TREMA, combinándolas para obtener de esta manera la TREMA del proyecto.

La fórmula para calcular la TREMA del inversionista es la siguiente:

$$\text{TREMA} = t_{in} + R + (t_{in} * R)$$

Donde:

$t_{in}$ : tasa de inflación vigente en el país

R: premio al riesgo (es lo que se aspira ganar por la inversión)

La TREMA de la institución financiera corresponde a la tasa de interés que cobra por efectuar el préstamo.

## **9.8. Datos de la medida de ahorro**

Los datos de las medidas de ahorro, son los resultados obtenidos de los métodos de evaluación de las medidas de propuestas con los estudios de los diagnósticos de ahorro de energía eléctrica de los equipos y sistemas en la

industria. Adicionalmente a éstos, serán requeridos para cada medida de ahorro lo siguiente:

- Inversión total: representa el costo total en quetzales de la medida de ahorro, costo del equipo e instalación.
- Ahorro anual: cantidad monetaria anual en quetzales por concepto de la energía ahorrada.
- Resultados de la evaluación económica descritos posteriormente:
  - Tiempo de recuperación
  - Valor Actual Neto (VAN)
  - Tasa Interna de Retorno o Rendimiento (TIR)
  - Tasa de Retorno Mínima Aceptada (TREMA)

### **9.9. Período o tiempo de recuperación**

El tiempo de recuperación es un criterio estático de valoración de inversiones que permite seleccionar un determinado proyecto en base a cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los ingresos que produce el proyecto, o por los beneficios resultantes (ahorros de energía eléctrica en cada facturación).

Resulta muy útil cuando se quiere realizar una inversión de elevada incertidumbre y de esta forma se tiene una idea del tiempo que tendrá que pasar para recuperar el dinero que se ha invertido.

La forma de calcularlo es mediante la suma acumulada de los flujos de caja, hasta que ésta iguale a la inversión inicial.

$$\text{Período o Tiempo de Recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros Anuales}}$$

El tiempo de recuperación es simple, debido a que no se considera el valor del dinero en el tiempo.

### **9.9.1. Evaluación de ahorro utilizando período de recuperación**

Una recuperación rápida puede ser un criterio para juzgar una inversión cuando se dispone de recursos limitados para invertir sólo por corto tiempo, pero con un estudio de inversión se obtendría una evaluación más detallada en la rentabilidad de un proyecto utilizando un período más amplio de recuperación. A continuación se presenta un ejemplo de recuperación en un período pequeño:

Si un proyecto requiere una inversión inicial de Q100 000,00 y genera ingresos anuales por Q40 000,00 el período de recuperación es de:

$$\text{Período de recuperación} = (100\ 000/40\ 000) = 2,5 \text{ años}$$

Por ejemplo:

Se necesita cambiar una bomba en mal estado de 450 galones por minuto con una carga de 50 libras por pulgada cuadrada, la potencia del motor es de 30 caballos de fuerza. La bomba propuesta cumple con las condiciones mínimas de trabajo y requiere de un motor de 25 caballos de fuerza. El ahorro en la demanda será de 7,4 kilovatios.

Si esta bomba opera 6 horas diarias de lunes a viernes, trabajara (6 horas\*5 días \*52 semanas) = 1 560 horas al año, con un ahorro anual de 7,4 kilovatios\* 1 560 horas = 11 544 kilovatios por hora.

Teniendo en cuenta que la empresa utiliza tarifa BTDp (ver tabla XVI), el precio unitario de la energía Q/kWh es de Q1,3729; esto da un total de ahorro en quetzales de  $Q11\,544 * 1.3729 = Q15\,848,76$  al año.

La inversión requerida para este equipo es de Q35 000,00.

Período de recuperación =  $(35\,000 / 15\,848,76) = 2,2$  años

## CONCLUSIONES

1. En la mayoría de industrias de Guatemala, existen áreas con importante oportunidad de ahorro y utilización eficiente de energía eléctrica.
2. Para encontrar oportunidad de ahorro de energía es necesario requerir de conocimientos básicos hasta conocimientos operativos complejos de la industria para diagnosticar.
3. Dentro de este trabajo los pasos básicos a seguir para realizar un proyecto de ahorro de energía eléctrica son: a) Elaboración de estrategia de trabajo; b) Recopilación de la información; c) Evaluación del estado de consumo de energía actual; d) Determinación del potencial de ahorro de energía; e) Análisis de factibilidad técnica para la ejecución de las propuestas de ahorro de energía; f) Evaluación económica; g) Selección de las medidas ahorradoras a implementar y h) Aplicación de acciones correctivas.
4. Para sistemas o equipos en la industria muy complejos o con alta eficiencia, es necesario analizar detalladamente las instalaciones con el fin de estructurar propuestas técnicas como económicamente viables.
5. Existen casos en los que hay que analizar paso a paso sistemas complejos de producción para verificar ahorros ya sea por operación o por costumbres del operador.

6. Por último se hace necesario la rentabilidad de las opciones propuestas por el estudio energético realizado, ya que es imprescindible la recuperación de la inversión según el ahorro energético propuesto en un tiempo prudencial.



## RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que en la mayoría de industrias de Guatemala poseen sistemas y equipos eléctricos con bastantes años de uso, siendo útil y practico realizar estudios de nivel uno o básico para encontrar oportunidades de ahorro a grandes rasgos.
2. Considerar que uno de los factores que influyen en no usar de manera eficiente la energía eléctrica, es el mal dimensionamiento de los sistemas y equipos utilizados en la industria, ya sea por subdimensionamiento como el sobredimensionamiento.
3. Analizar que en los sistemas muy complejos de la industria se debe adentrarse más en el diseño de estos y estudiar tecnologías recientes para determinar si puede existir ahorro de energía.
4. Considerar el correcto dimensionamiento de los equipos y sistemas para empezar a realizar diagnósticos de ahorro de energía, ya que esta es la principal fuente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ BRAVO Dalila, Universidad Pontificia de Comillas. *Climatización de un Centro Comercial en Córdoba*. 2003. 200 p.
2. Arquitecto Jorge Czajkowski. *Instalaciones Térmicas*.
3. Banco Interamericano de Desarrollo. *Evaluación para Sistemas de Bombeo de Agua, Manual de eficiencia energética*. Guatemala, 2011. 200 p.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica con el apoyo del fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica de México (FIDE). *Memorias escritas y técnicas de curso a nivel Ingeniero. Auditorías Energéticas en Plan Real Piloto*. México, 2010. 250 p.
5. Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, CONUEE. *Guía para Elaborar un Diagnóstico Energético*. México, 2011. 100 p.
6. Cooperación Técnica BID. Plan Integral de Eficiencia Energética. *Proyectos Piloto de Eficiencia Energética, CNEE*. 2011. 225 p.
7. GUIMARÃES MERÇON, Mariana. *Confort térmico y tipología arquitectónica en clima cálido húmedo*. Universidad Politécnica de Catalunya. España, 2011. 220 p.

8. GARCÍA SANZ, María Peñahora. *Iluminación en puestos de trabajo, criterios para su evaluación y acondicionamiento*. Centro nacional para nuevas tecnologías de Ministerio de empleo y Seguridad Social de España. España, 2011. 250 p.
9. Información de la Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE) de México. *Consejos para ahorrar energía en sistemas de aire comprimido*. México, 2012. 100 .p
10. Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) con el apoyo del fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica de México (FIDE). *Memorias escritas y técnicas de curso recibido a nivel Ingeniero*. México, 2010. 300 p.
11. Universidad Autónoma del Atlántico y Universidad Autónoma del Occidente de Colombia. *Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas*. Colombia, 2010. 200 p.