

GUÍA GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE ACTIVOS PARA INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL

Esta versión se encuentra disponible para el proceso de Consulta Pública en el marco del proyecto “Elaboración de guía gestión de integridad de activos para infraestructura industrial”.

17 ÍNDICE DE CONTENIDO

18	1	Estructura de la Guía.....	11
19	1.1	Acerca de esta Guía y su Uso.	11
20	1.2	Esquema de la Guía.....	11
21	2	Introducción a la Gestión de Activos	13
22	2.1	Definiciones Básicas	13
23	2.1.1	Definición de un Activo	13
24	2.1.2	Valor del Activo	15
25	2.1.3	Gestión de Activos	15
26	2.2	Sistema de Gestión de Activos.....	15
27	2.3	Ciclo de Vida del Activo.....	17
28	2.3.1	Ejemplo Ciclo de Vida del Activo.....	18
29	2.4	Implementación de Sistemas de Gestión de Activos.....	18
30	2.4.1	Objetivos de la Implementación de Gestión de Activos	18
31	2.4.2	Plan de Implementación de un Sistema de Gestión de Activos (SGA).....	19
32	2.5	Resumen	20
33	3	Sector Industrial Pequeña y Mediana Industria.....	21
34	3.1	Antecedentes del Sector.....	21
35	3.2	Clasificación Empresas	21
36	4	Energía y Eficiencia Energética	24
37	4.1	Energía	24
38	4.2	Definiciones de Energía.....	24
39	4.3	Tipos de Energía.....	24
40	4.4	Eficiencia Energética	27
41	4.5	Riesgos a las Personas Asociados al Uso de Energía en la Industria.....	28
42	5	Gestión de Integridad de Activos.....	29
43	5.1	Gestión de Activos Aplicado a la Infraestructura de la Pequeña y Mediana Empresa	29
44	6	Estrategia de Abastecimiento	31
45	6.1	Logística y Repuestos	32
46	6.2	Suministro de Insumos y Materiales.....	32

47	6.3	Repuestos y Materiales.....	33
48	6.3.1	Tipos de Repuesto.....	35
49	6.3.2	Aspectos en la Selección del Repuesto	36
50	6.3.3	Proceso para Confeccionar la Lista de Repuestos	37
51	6.4	Optimización de la Bodega de Repuestos.....	37
52	6.5	Contratos de Suministros y Servicios.....	39
53	7	Estrategia de Recursos Humanos.....	42
54	7.1	Estructura Organizacional.....	44
55	7.2	Diseño Organizacional.....	45
56	7.3	Organigrama	46
57	7.4	Perfiles de Cargo	47
58	7.5	Plan de Capacitación	49
59	8	Estrategia de Operaciones	52
60	8.1	Eficiencia Energética del Proceso.....	54
61	9	Estrategia de Mantenimiento	56
62	9.1	Tácticas o Estados de Mantenimiento	57
63	9.1.1	Mantenimiento Correctivo:	57
64	9.1.2	Mantenimiento Preventivo.....	57
65	9.2	Árbol de Equipos	60
66	9.2.1	Priorización de equipos (análisis de criticidad).....	62
67	9.3	Catálogo de Fallas	63
68	9.4	Plan de Mantenimiento	65
69	9.5	Medición y Control.....	65
70	9.5.1	Medición de vibraciones.....	67
71	9.5.2	Medición de Temperatura	68
72	9.5.3	Medición de Tiempos Operacionales.....	71
73	9.6	Presupuesto del Plan de Mantenimiento	73
74	10	Sistemas Claves del Sector PYME.....	76
75	10.1	Motor Eléctrico	77
76	10.1.1	Principio Físico del Funcionamiento de un Motor Eléctrico	78
77	10.1.2	Motor Trifásico.....	79

78	10.1.3	Partes de un Motor	80
79	10.1.4	Eficiencia Energética en un Motor Eléctrico	85
80	10.1.5	Gestión de Mantenimiento de Motores	86
81	10.1.6	Plan de Mantención	92
82	10.1.7	Fallas en Motores Eléctricos	94
83	10.2	Sistemas de Bombeo	99
84	10.2.1	Gestión de Operaciones para los Sistemas de Bombeo	101
85	10.2.2	Eficiencia de la Bomba	103
86	10.2.3	Gestión de Mantenimiento para los Sistemas de Bombeo	105
87	10.2.4	Piping.....	110
88	10.2.5	Instrumentación.....	111
89	10.2.6	Estructuras	111
90	10.3	Calderas.....	113
91	10.3.1	Gestión de Operaciones de Calderas	120
92	10.3.2	Eficiencia de Calderas	125
93	10.3.3	Gestión de Mantenimiento de Calderas	131
94	10.4	Bomba de Calor.....	137
95	10.4.1	Energías Involucradas	138
96	10.4.2	Operación en Modo Calor.....	139
97	10.4.3	Operación en Modo Frío	139
98	10.4.4	Eficiencia en bombas de Calor	140
99	10.4.5	Gestión de Operaciones de Bombas de Calor.....	140
100	10.4.6	Gestión de Mantenimiento de Bombas de Calor.....	141
101	10.5	Iluminación Industrial	147
102	10.5.1	Componentes de un Sistema de Iluminación	148
103	10.5.2	Gestión de Operación de Sistemas de Iluminación	149
104	10.5.3	Eficiencia Energética en Iluminación	150
105	10.5.4	Gestión de Mantenimiento de Sistemas de Iluminación	155
106	10.6	Sistemas de Aire Comprimido.....	159
107	10.6.1	Componentes de un Sistema de Aire Comprimido.....	160
108	10.6.2	Gestión de Operación de un Sistema de Aire Comprimido	163

109	10.6.3	Gestión de Mantenimiento de un Sistema de Aire Comprimido.....	164
110	10.6.4	Eficiencia Energética en los Sistemas de Aire Comprimido	167
111	10.7	Sistema de Refrigeración	170
112	10.7.1	Sistemas Frigoríficos	170
113	10.7.2	Energías Involucradas	172
114	10.7.3	Funcionamiento de Sistemas de Refrigeración.....	172
115	10.7.4	Causas de Pérdida de Eficiencia en los Sistemas Frigoríficos	174
116	10.7.5	Gestión de Operaciones.....	175
117	10.7.6	Consideraciones de Seguridad	176
118	10.8	Sistema de Ventilación y Climatización.....	178
119	10.8.1	Unidad Manejadora de Aire (UMA)	178
120	10.8.2	Componentes de la Unidad Manejadora de Aire	179
121	10.8.3	Gestión de Operaciones.....	183
122	10.8.4	Gestión de Mantenimiento.....	184
123	10.8.5	Energía y Consejos para la Eficiencia Energética	188
124	11	Referencias.....	189
125	12	Anexos.....	190
126	12.1	Sistema gestión de activos: Listas de Verificación Operacional.	190
127			
128			

129 ÍNDICE DE TABLAS E IMÁGENES

130	Figura 1.1: Esquema de la Guía.....	11
131	Figura 2.1: Sistema de Gestión de Activos.....	16
132	Figura 2.2: Ciclo de Vida del Activo.....	17
133	Figura 2.3: Requisitos del Sistema de Gestión de Activos	20
134	Tabla 3.1: Distribución de empresas, año 2015.....	22
135	Gráfico 3.1: Empresas según tamaño	22
136	Gráfico 3.2: Volumen ventas según tamaño.....	22
137	Tabla 3.2: Total empresas PYME año 2015.....	23
138	Gráfico 3.3: PYME y sectores económicos que la componen.....	23
139	Figura 4.1: Capacidad Instalada de Generación Eléctrica en Chile a julio de 2018.	25
140	Figura 4.2: Transformación de energía eléctrica en energía mecánica	26
141	Figura 5.1: Estrategias Alineadas con el Valor del Activo	29
142	Figura 6.1: Estrategia de Abastecimiento en el Sistema de Gestión de Activos.....	31
143	Tabla 6.1: Matriz de Criticidad	34
144	Tabla 6.2: Registro de equipos y criticidad	35
145	Tabla 6.3: Registro de equipos y repuestos críticos.....	37
146	Figura 6.2: Proceso de Gestión de Contratos	40
147	Figura 7.1: Estrategia de RRHH en el Sistema de Gestión de Activos.....	42
148	Figura 7.2: Competencia laboral	43
149	Figura 7.3: Típica organización Operación y Mantenimiento	44
150	Tabla 7.1: Funciones Fundamentales de la pequeña y mediana Industria.....	46
151	Figura 7.4: Organigrama Propuesto.....	47
152	Figura 7.5: Programa de Capacitación Modular	50
153	Figura 8.1: Estrategia de Operaciones en el Sistema de Gestión de Activos.....	52
154	Figura 8.2: Curva característica de una bomba centrífuga	54
155	Figura 9.1: Estrategia de Mantenimiento en el Sistema de Gestión de Activos.....	56
156	Figura 9.2: Ejemplo de árbol de equipos	62
157	Tabla 9.1: Catálogo de fallas	64
158	Figura 9.3: Medición de una Variable Respecto de un Patrón o “Benchmark”	66

159	Tabla 9.2: Zona de operación en función de la Clase de Máquina y velocidad de vibración	68
160	Figura 9.4: Medición de temperatura de un conjunto de rodamientos	69
161	Figura 9.5: Medición de temperatura de un motor eléctrico	70
162	Figura 9.6: Identificación de punto caliente mediante cámara termográfica	71
163	Figura 9.7: Distribución de tiempos operacionales	72
164	Tabla 9.3: Presupuesto del Plan de Mantenimiento	74
165	Tabla 10.1: Sistemas de uso común en las PYME	76
166	Figura 10.1.1: Cableado trifásico y monofásico alterno	77
167	Tabla 10.1.1: Ejemplos de factor de derrateo	78
168	Figura 10.1.2: Energías en un motor	79
169	Figura 10.1.3: Componentes de un motor eléctrico	80
170	Tabla 10.1.2: Número de Polos y Velocidad de Giro en un Motor	80
171	Figura 10.1.4: Ejemplo placa motor	82
172	Tabla 10.1.3: Clase protección motor (IP), significado primer y segundo número	83
173	Figura 10.1.5: Curva típica de eficiencia vs porcentaje de carga de motores	85
174	Figura 10.1.6: Herramientas mínimas para chequeo de motor	87
175	Figura 10.1.7: Medición de Voltaje al motor	88
176	Figura 10.1.8: Medición de Corriente al motor	89
177	Figura 10.1.9: Medición de Temperatura del motor	91
178	Tabla 10.1.4: Clase aislación motor y temperaturas asociadas	91
179	Figura 10.1.10: Medición de Vibraciones del motor	92
180	Tabla 10.1.5: Plan de mantenimiento de motores	93
181	Figura 10.1.11: Curva de la bañera	94
182	Tabla 10.1.5: Causas posibles y soluciones en fallas de motores	97
183	Tabla 10.1.6: Causas posibles y soluciones en fallas de motores	98
184	Figura 10.2.1: Diagrama simplificado de balance de energía sistema bombeo	99
185	Figura 10.2.2: Esquema básico de un sistema de bombeo	100
186	Figura 10.2.3: Placa característica de la bomba	101
187	Figura 10.2.4: Curva característica de una bomba	103
188	Figura 10.2.5: Árbol de equipos sistema bombeo	105
189	Tabla 10.2.2: Plan de mantención sistema bombeo	106

190	Figura 10.2.6: Partes de una bomba	107
191	Tabla 10.2.3: Fallas típicas en bombas.....	108
192	Tabla 10.2.4: Fallas típicas en bombas.....	109
193	Figura 10.3.1: Caldera de Condensación	113
194	Figura 10.3.2: Quemador de tiro forzado	114
195	Figura 10.3.3: Intercambiador de Calor de Tubos Acuotubular	115
196	Figura 10.3.4: Intercambiador de Placas	115
197	Figura 10.3.5: Radiador de Flujo Forzado	116
198	Figura 10.3.6: Esquema básico de un sistema de ablandamiento de agua mediante osmosis inversa ...	116
199	Figura 10.3.7: Instrumentación esquema de control caldera.....	117
200	Figura 10.3.8: Ejemplos de dispositivos de seguridad	117
201	Figura 10.3.9: Esquema de Trampas de Vapor	118
202	Tipos de Calderas	118
203	Figura 10.3.10: Caldera Pirotubular	118
204	Figura 10.3.11: Caldera Acuotubular	118
205	Figura 10.3.12: Caldera Agua Caliente	119
206	Figura 10.3.13: Caldera de Vapor	119
207	Figura 10.3.14: Esquema de una caldera de condensación.....	120
208	Figura 10.3.15: Esquema de Planta de Vapor y Agua Caliente	121
209	Figura 10.3.16: Caldera de Vapor: Aspectos Principales	122
210	Figura 10.3.17: Diagrama de Circuito de Vapor.....	124
211	Figura 10.3.18: Transformación de la energía en una caldera de vapor	125
212	Tabla 10.3.1: Poder Calorífico Combustibles Sólidos.....	126
213	Tabla 10.3.2: Poder Calorífico Combustibles Líquidos.....	127
214	Tabla 10.3.2: Poder Calorífico Combustibles Gaseosos.....	127
215	Figura 10.3.18: Árbol de equipos Calderas	133
216	Tabla 10.3.4: Catálogo De Fallas Caldera	134
217	Tabla 10.3.5: Plan de Mantenimiento Tipo para Calderas.....	135
218	Figura 10.4.1: Esquema Bomba de Calor	137
219	Figura 10.4.2: Transformación de la energía en una bomba de calor	138
220	Figura 10.4.3: Operación en modo calor	139

221	Figura 10.4.4: Operación en modo frío.....	139
222	Figura 10.4.5: Imagen Termográfica de Condensador Obstruido	141
223	Figura 10.4.6: Árbol de equipos bomba de calor	142
224	Tabla 10.4.1: Catálogo de Fallas de Bomba de Calor	143
225	Tabla 10.4.2: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Actividades Generales	144
226	Tabla 10.4.3: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Ciclo de Refrigeración.....	145
227	Tabla 10.4.4: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Compresor	145
228	Tabla 10.4.5: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Circuito Hidráulico	146
229	Figura 10.5.1: Diagrama de transformación de energía eléctrica en luminosa.....	151
230	Tabla 10.5.1: Tabla de cálculo simplificado del ahorro cambio a LED	155
231	Tabla 10.5.2: Catálogo de fallas sistemas de iluminación.....	157
232	Tabla 10.5.3: Plan de mantenimiento sistemas de iluminación	158
233	Figura 10.6.1: Pérdidas por Fugas en líneas de Aire Comprimido en Función de la Presión, Caudal y	
234	Diámetro del orificio	159
235	Figura 10.6.2: Componentes de un sistema de aire comprimido.....	161
236	Figura 10.6.3: Corte de la carcasa mostrando los dos tornillos.....	162
237	Figura 10.6.4: Esquema de un compresor de pistón de dos cilindros	163
238	Figura 10.6.5: Placa de características del sistema de aire comprimido	163
239	Tabla 10.6.1: Catálogo de falla para un sistema de aire comprimido	165
240	Tabla 10.6.2: Actividades preventivas rutinarias	166
241	Tabla 10.6.3: Actividades preventivas por horas de trabajo para un compresor.....	167
242	Figura 10.7.1: Esquema de Refrigeración Clásico	171
243	Figura 10.7.2: Diagrama Termodinámico Ciclo de Refrigeración	171
244	Figura 10.7.3: Diagrama de Cámara Frigorífica.....	172
245	Figura 10.7.4: Esquema de un Sistema Frigorífico de 2 Cámaras	173
246	Figura 10.7.5: Imagen Termográfica de Condensador Obstruido	176
247	Figura 10.7.6: Equipo para Detección de Hermeticidad por Ultrasonido.....	176
248	Figura 10.8.1: Proceso de tratamiento de aire con UMA	179
249	Figura 10.8.2: UMA con sus componentes principales a la vista (sin paneles laterales).....	179
250	Figura 10.8.3: Ejemplo de carcasa de una UMA	180
251	Figura 10.8.4 Ejemplo de bandeja recolectora de condensados de una UMA.....	180

252	Figura 10.8.5: Ventiladores de doble aspiración con palas acción y con palas reacción.....	181
253	Tabla 10.8.1: Cuadro comparativo de ventajas ventiladores doble aspiración, palas de acción vs palas de	
254	reacción.....	181
255	Figura 10.8.6: Intercambio de calor aire-agua en una batería de UMA	182
256	Figura 10.8.7: Ejemplo de batería de frío/calor con tubería de cobre y aletas de aluminio	182
257	Figura 10.8.8: Ejemplo del uso de campana de medición de caudal de aire.....	184
258	Figura 10.8.9: Árbol de Equipos sistemas UMA.....	185
259	Tabla 10.8.1: Catálogo de Fallas sistemas UMA	186
260	Tabla 10.8.2: Plan de mantenimiento preventivo de una UMA	187
261		
262		

1 ESTRUCTURA DE LA GUÍA

A continuación se muestra esquemáticamente como está constituida esta guía:

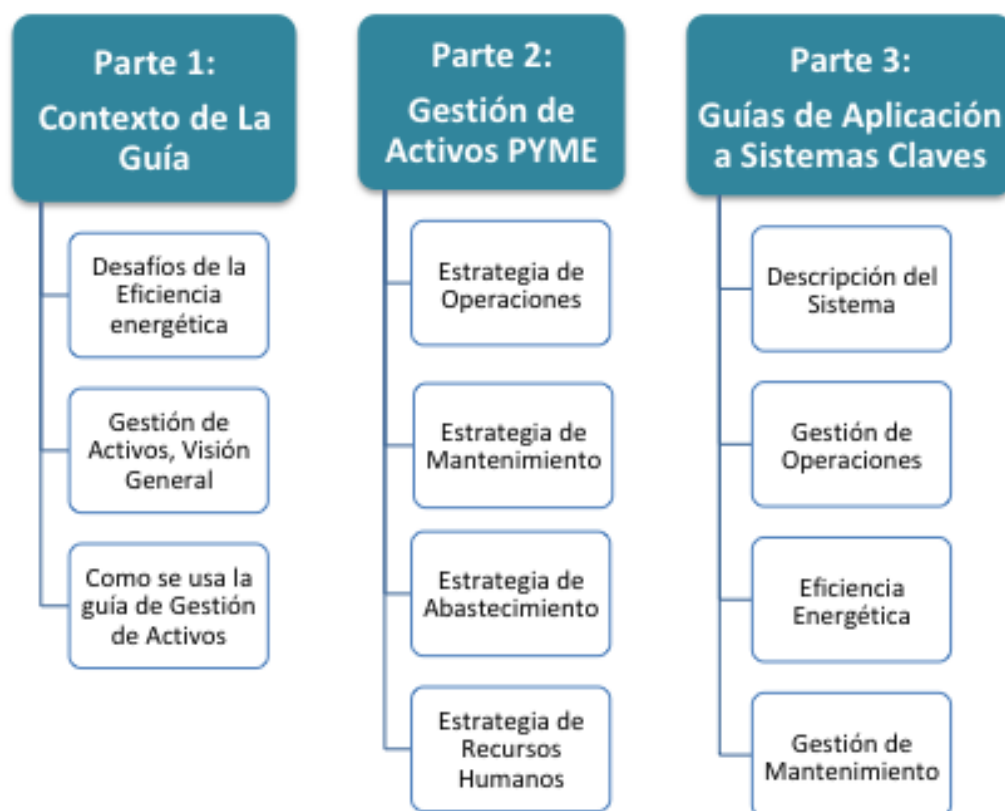


Figura 1.1: Esquema de la Guía

1.1 ACERCA DE ESTA GUÍA Y SU USO.

La presente guía reúne los principales elementos que soportan una aplicación práctica de una estrategia de gestión de activos moderna, sustentada en la ISO 55.000.

Se incorporan mejoras destinadas a facilitar la lectura y comprensión de esta materia, además de ejemplos prácticos que ayudarán a la comprensión.

1.2 ESQUEMA DE LA GUÍA.

El presente documento está dividido en tres partes. La primera, permite al lector obtener una visión amplia y estratégica de los sistemas de gestión de activos, sus conceptos, implementación y como la incorporación de la gestión de activos permite asegurar la promesa

277 de valor de las inversiones realizadas en el tiempo, manteniendo el desempeño de todos los
278 recursos en rangos eficientes.

279 La segunda parte, presenta las dimensiones claves en cómo aplicar la gestión de activos a las
280 dimensiones de abastecimiento, recursos humanos, operación, mantenimiento, en el contexto
281 de estrategias alineadas con el aporte de valor de los activos. Estas estrategias permitirán al
282 lector desarrollar una mirada amplia de cómo ser eficiente en ciertos sistemas y subsistemas.

283 La tercera, presenta y entrega una metodología práctica basada en secuencias de trabajos
284 que pueden ser aplicadas por técnicos de nivel superior e ingenieros, permitiéndoles
285 comprender y/o mejorar su gestión sobre los activos que ya están operando en las diversas
286 industrias, ya sea la gestión sobre activos basados en tecnologías antiguas y que están
287 próximas a su reemplazo como la gestión de incorporación de nuevas tecnologías a los
288 procesos, teniendo como fin conservar el valor aportado por los activos.

289

2 INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DE ACTIVOS

En el contexto de una sociedad que exige de sus organizaciones procesos y servicios sustentables y eficientes en el uso de los recursos. La gestión de activos representa un cambio cultural, en el planeamiento estratégico de empresas e instituciones gubernamentales, que agrega, a la visión tradicional sobre productos, servicios y clientes, la visión de los activos y el valor que estos son capaces de generar. La gestión de activos ayuda en el desarrollo de procesos más eficientes, mitigando el riesgo de los sistemas involucrados a un menor costo al fijar normas claras y precisas respecto del ciclo de vida y las condiciones de reemplazo de los activos.

2.1 DEFINICIONES BÁSICAS

2.1.1 DEFINICIÓN DE UN ACTIVO

Un activo es un objeto, sistema, entidad que tiene valor potencial o real para la organización. Controlado por la empresa u organización, como resultado de hechos pasados, del cual la organización espera obtener, en el futuro, beneficios económicos, sociales, calidad de vida u otros.

Normas que definen los activos:

- Norma ISO 55000 de Gestión de Activos
- IFRS (International Financial Reporting Standards)

Manteniendo la mirada en el valor real o potencial y en el beneficio esperado, se listan algunos ejemplos de activos al interior de organizaciones:

Activos:

- Edificios
- Sistemas de bombeo
- Calderas
- Vehículos
- Maquinarias

Los ejemplos anteriores intuitivamente son considerados activos físicos. Pero también existen otros activos tales como:

- Patentes
- Permisos
- Licencias
- Estudios

Estos son denominados activos intangibles, sin embargo, hay otras entidades que también agregan valor a la organización y ésta espera beneficios en su utilización, por ejemplo:

- El talento de las personas.
- El conocimiento.
- Los permisos que dan las comunidades para la instalación u operación.
- La reputación.

Hay insumos que son administrados por las organizaciones, de los cuales ésta espera un beneficio en su uso, por lo tanto, entran en ambas definiciones de activos. Por ejemplo:

- La energía.
- El agua.
- Financiamiento.
- Otros insumos estratégicos.
- Materias primas si se trata de un proceso productivo cualquiera.

Todas las organizaciones tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, sin duda que la sensación de bienestar y las expectativas de esas personas son también activos que deben ser gestionados. Es así que, desde el punto de vista del bienestar, las personas adquieren distintas denominaciones según la organización con la que se involucran y el modo en el que participan:

- Paciente.
- Usuario.
- Cliente.
- Afiliado.
- Accionista.
- Directivo.
- Ejecutivo.
- Trabajador.
- Profesional.
- Vecino.

Los activos en las organizaciones adoptan diversas formas, nombres y denominaciones. Lo importante es destacar que mientras se trate de alguna entidad que aporte valor a la organización se trata de un activo.

2.1.2 VALOR DEL ACTIVO

Para la gestión de activos el valor no es sólo el valor monetario, precio, tarifa, sueldo o salario de algún bien o servicio. La gestión de activos, tiene como foco el valor que el activo puede entregar a la organización en determinado contexto.

En el sentido tradicional del concepto no se podría valorizar la reputación de una organización. Sin embargo, desde el punto de vista de la gestión de activos y el foco en el valor que el activo proporciona, se puede decir que la pérdida de reputación sí constituye una pérdida de valor, dado que la organización podría dejar de operar, atender o incluso, dejar de existir.

Dado lo anterior, a una entidad cualquiera se le asigna el valor que agrega al servicio o proceso, no sólo el valor, tarifa o precio de los activos involucrados.

Mantener una óptica en la generación de valor facilita la toma de decisiones y las asignaciones de recursos para alcanzar los objetivos y metas de las organizaciones.

2.1.3 GESTIÓN DE ACTIVOS

Para alcanzar los objetivos que la organización se propuso, es requisito que gestione sus activos de manera eficiente. Aquí es donde las estrategias de gestión de activos hacen su aparición, preservando el valor que dichos activos entregan a la organización al facilitar y guiar las funciones de cada estamento involucrado.

La gestión de activos no sólo administra un activo propiamente tal, sino que administra la generación de valor de dicho activo para la organización. Esta gestión debe hacerse de manera sustentable y eficiente, cuidando cada uno de los recursos o insumos que tiene a su disposición.

2.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS

El mantener una alta eficiencia en los activos que administra la organización es un desafío continuo que debe recorrer todos los estamentos que participan en la generación de valor, ya sea en el contexto de la entrega de un servicio asistencial, de alta complejidad o un proceso productivo cualquiera. Un sistema de gestión de activos es aplicable a todo tipo de organizaciones que gestionen recursos, ya sean estos del tipo de activos físicos o intangibles, pues, los conceptos son transversales, independiente de la naturaleza o el propósito de la organización.

El Sistema de Gestión de Activos como una herramienta de gestión debe tener al menos:

- Identificación de los activos involucrados.
- Identificación del valor que agregan los activos en su propio contexto.
- Definición de la estrategias de las áreas, niveles de la organización, que tengan como foco el aporte de valor de estas estrategias, al menos deben estar:

- Estrategia de Operaciones
- Estrategia de Mantenimiento
- Estrategia de Logística y Materiales
- Estrategia de Recursos Humanos
- Estrategia de Seguridad y Medioambiente
- Estrategia de Ingeniería y Proyectos
- Estrategia de Finanzas

- Política de Gestión de Activos, con objetivos y las normas que la rigen. Debe contener las formas en que los estamentos se relacionan entre ellos para preservar el valor de los activos.
- Plan Estratégico de Gestión de Activos. Es un plan de mediano y largo plazo que contienen los programas de implementación y evaluación del sistema.



Figura 2.1: Sistema de Gestión de Activos

El sistema de gestión de activos rige todas las acciones que afectan la generación de valor del activo a lo largo de todo el ciclo de vida del activo, mientras éste entregue valor a la organización.

2.3 CICLO DE VIDA DEL ACTIVO

El ciclo de vida del activo está dado por las siguientes etapas:

Adquisición: El activo pasa a formar parte de la organización agregando valor a la consecución de los objetivos de ésta, ya sea en un tiempo presente o futuro.

Instalación: El activo pasa a incorporarse a los procesos o servicios de la organización, y se espera del activo un beneficio o valor.

Operación: El activo pasa por procesos de transformaciones, transformándose a sí mismo o transformando otros activos. En esta etapa es donde se agrega valor al activo o es el activo el que agrega valor.

Mantenición: El activo es cuidado o mantenido para que continúe agregando valor a la organización.

Reemplazo: El activo que ha sido transformado o ha entregado todo su valor, debe ser reemplazado.

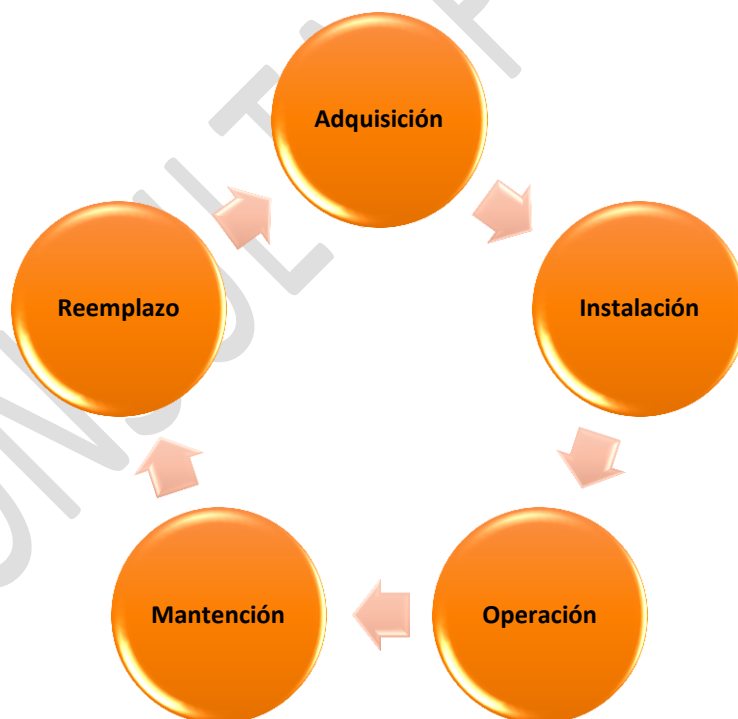


Figura 2.2: Ciclo de Vida del Activo

2.3.1 EJEMPLO CICLO DE VIDA DEL ACTIVO

Una caldera que alimenta al sistema de agua caliente sanitaria, tiene como valor para la organización entregar agua potable a una temperatura de entre 30 y 35 ° centígrados.

Las etapas del Ciclo de Vida quedan de la siguiente manera:

Adquisición: el activo es definido como parte del sistema en las etapas de ingeniería conceptual y es adquirido como un bien para la organización, cumpliendo con los requerimientos de entregar agua entre 30 y 35 grados centígrados.

Instalación: El activo es montado físicamente, de acuerdo a ciertos estándares, en algún proceso que cumpla con los objetivos de entregar agua en el rango de 30 a 35° centígrados.

Operación: El activo comienza los procesos de transformaciones energéticas, en este caso, calentando agua a una temperatura entre 30 y 35 grados centígrados.

Mantenimiento: el activo es intervenido periódicamente para que mantenga la salida del agua potable entre 30 y 35 grados centígrados o para que vuelva a hacerlo en caso que haya dejado de entregar el agua potable en ese rango de temperaturas.

Reemplazo: Cuando el activo ya no es capaz de entregar el agua potable entre 30 a 35 grados centígrados, aun cuando se le hayan efectuado intervenciones para devolverle la capacidad de hacerlo o lo hace de una manera ineficiente, debe ser reemplazado. En esta etapa es conveniente evaluar el reemplazo por un activo de mayor eficiencia energética.

Si la definición de valor implicara entregar agua entre 30 y 35 grados centígrados a un caudal de 100 litros por segundo el ciclo debiera revisarse, dado que ahora el caudal entregado también forma parte de la entrega de valor.

2.4 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE ACTIVOS

La implementación de un sistema de gestión de activos es todo un desafío para las organizaciones, dado que implica cambios técnicos, sociales y culturales. Estos proyectos de implementación deben contar con al menos un objetivo, planes de implementación, recursos propios, metas específicas, responsabilidades definidas y un liderazgo desde lo más alto de la organización.

2.4.1 OBJETIVOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN DE ACTIVOS

Un sistema de Gestión de Activos también debe ser considerado un activo, por lo tanto, también debe entregar valor a la organización. La entrega de valor debe ser en términos concretos y medibles, como por ejemplo:

- Mayor rentabilidad económica o social.
- Mejor servicio.

- Menor costo.
- Mayor eficiencia.
- Optimización del ciclo de vida de los activos.
- Disminución y mitigación de riesgos.
- Mayor confiabilidad de los sistemas.

La implementación de un sistema de gestión de activos, como proyecto, también es un activo que debe entregar valor a la organización en todas sus etapas, desde el momento en el que se decide invertir en este tipo de implementaciones, hasta la adopción por parte de toda la organización como parte de su cultura.

2.4.2 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS (SGA)

La alta dirección de la organización debe establecer una política de Gestión de Activos que sea compatible con los objetivos y metas generales de la organización. Esta política debe orientar, regular y ayudar a todos los niveles, áreas, unidades de la organización en las materias relativas a la gestión de activos y su ciclo de vida.

Además, la alta dirección debe emitir las normas que rigen las definiciones y el desarrollo de cada una de las estrategias de las áreas que gestionan los activos.

Para implementar un sistema de gestión de activos es necesario que algunos requisitos sean satisfechos:

- Definición del Contexto Operacional: La organización debe evaluar el contexto operacional y el alcance en el cual se hará la implementación del Sistema de Gestión de Activos. Es importante identificar los grupos de interés que podrían influir en los resultados de la implementación, gestionando sus necesidades y expectativas.
- Liderazgo: Para la implementación de un SGA el liderazgo debe ser desde lo más alto de la organización y éste debe demostrar compromiso con la implementación en cada momento y en cada etapa. Asegurando que se cumpla el plan y los objetivos del SGA. Es la alta dirección la que debe establecer los recursos y fijar la política de gestión de activos.
- Planificación: Debe existir un plan estratégico de implementación con hitos definidos, medibles, responsabilidades y plazos realistas al contexto de la operación. Debe incluir todas las actividades, incluso las financieras y organizacionales.
- Apoyo: La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejora continua del sistema de gestión de activos. Además de un plan de comunicaciones efectivo para dar a conocer los objetivos, alcance y avances del plan de implementación.
- Operación: La organización debe implementar y controlar los procesos necesarios para cumplir con los requisitos, para implementar las acciones determinadas en los planes de gestión de activos. Establecer una efectiva gestión del cambio para adecuar a las personas en las nuevas acciones, actividades y tareas relacionadas con la implementación.
- Evaluación del Desempeño: La alta dirección debe revisar el sistema de gestión de activos de la organización, a intervalos planificados, para asegurar su continua idoneidad, adecuación y

eficacia. Los resultados de la revisión por la dirección deben incluir las decisiones relativas a las oportunidades de mejora continua y a cualquier necesidad de cambios. La organización debe retener la información documentada como evidencia de los resultados de las revisiones por la dirección.

La figura 2.3 muestra los requisitos de la implementación de un sistema de gestión de activos, todos están a un mismo nivel, no hay uno más importante que otro y todos deben avanzar con tareas en paralelo.



Figura 2.3: Requisitos del Sistema de Gestión de Activos

2.5 RESUMEN

La definición de los activos debe responder a las necesidades de la organización en su contexto de funcionamiento. Para algunas organizaciones, altamente intensivas en el uso de mano de obra, conocimiento o talento, las personas se constituyen en un activo gravitante para gestionar. Para organizaciones altamente intensivas en el uso de activos físicos, como equipos y maquinarias, estos son gravitantes a la hora de la gestión de los resultados de la organización.

Es la propia organización la que debe definir sus activos y el valor que estos entregan.

Para efectos de esta guía, en el contexto de la infraestructura industrial, en el próximo capítulo se abordan las estrategias de operaciones, mantenimiento, materiales y logística, recursos humanos y seguridad para los sistemas comunes utilizados en pequeña y mediana industria.

3 SECTOR INDUSTRIAL PEQUEÑA Y MEDIANA INDUSTRIA

3.1 ANTECEDENTES DEL SECTOR

El sector que abarca las actividades económicas de la pequeña y mediana industria cubren, en general, los sectores económicos Primario, Secundario y Terciario en una gran variedad de rubros. Para efectos del trabajo de esta guía, las áreas que se incluyen en los conceptos de la gestión de activos son los sectores económicos primario y secundario, los que se definen a continuación.

Sector Económico Primario:

- Agricultura, ganadería, caza y silvicultura
- Pesca
- Explotación de minas y canteras

Sector Económico Secundario (Industrial):

- Industrias manufactureras no metálicas
- Industrias manufactureras metálicas
- Suministro de electricidad, gas y agua
- Construcción

3.2 CLASIFICACIÓN EMPRESAS

Las empresas se clasifican por cantidad de trabajadores y ventas anuales. Según la definición que entrega el servicio de impuestos internos (SII) y que adopta toda la industria, la clasificación en ambos casos se define de acuerdo a lo siguiente:

Clasificación por cantidad de Trabajadores

- Empresa grande: más de 200 trabajadores
- **Pyme: 5-199 trabajadores**
- Micro: hasta cuatro trabajadores
- Sin identificar: 193.900 trabajadores

Clasificación por volumen de ventas anuales en UF

- Empresa grande: más de 100.001 UF
- **Mediana: 25.001 a 100.000 UF**
- **Pequeña: 2401 a 25.000 UF**
- Micro: menos de 2400 UF

La orientación de la gestión de activos y la eficiencia energética que se detalla en esta guía se enfoca en la Mediana y Pequeña empresa (PYME en adelante). En las dos clasificaciones anteriores se muestran en negritas, por una parte, el número de trabajadores y, por otra parte, el monto de ventas para estas empresas, de acuerdo a la definición del SII.

En el año tributario 2016, el número de empresas según el estudio del servicio de impuestos internos alcanzaba a 1.074.040, de las cuales 219.953 correspondían a empresas del sector PYME, necesario considerar en el análisis que, de acuerdo a la fuente de información (SII), existen 156.711 empresas que no indicaron ventas al SII por lo que no fueron clasificadas, de esta manera existe la probabilidad de que el número de PYME sea mayor, en la Tabla se muestra la información de la ventas de las empresas según tamaño.

TAMAÑO SEGÚN VENTAS	Año Tributario 2016 (Año comercial 2015)		
	Nº de Empresas	Nº de empresas	Monto de Ventas
	Cantidad	%	(miles de UF)
SIN VENTAS	156,711	15%	0
MICRO	683,204	64%	385,365
PEQUEÑA	191,507	18%	1,403,444
MEDIANA	28,446	3%	1,362,903
GRANDE	14,172	1%	18,214,911
Total general	1,074,040	100%	21,366,622

Tabla 3.1: Distribución de empresas, año 2015

(Tabla elaboración propia a partir de datos del servicio de impuestos internos)

A partir de la información de la tabla 3.1 se genera el gráfico 3.1, el cual muestra el porcentaje de las empresas según tamaño, siendo las PYME un total de 21% del total de las empresas. Por otro lado, en el gráfico 3.2 se muestra el porcentaje de ventas por empresas, donde las PYME ocupan un 13% del volumen total de ventas.

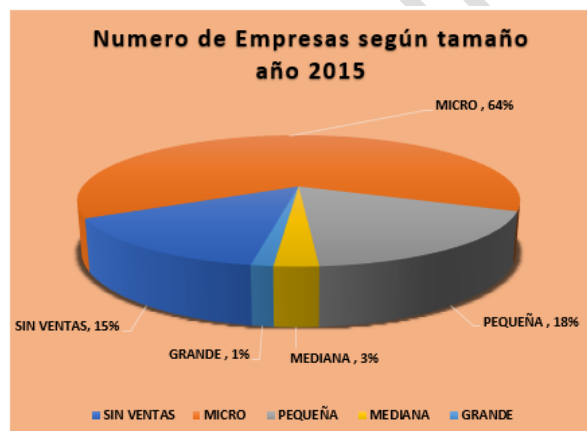


Gráfico 3.1: Empresas según tamaño

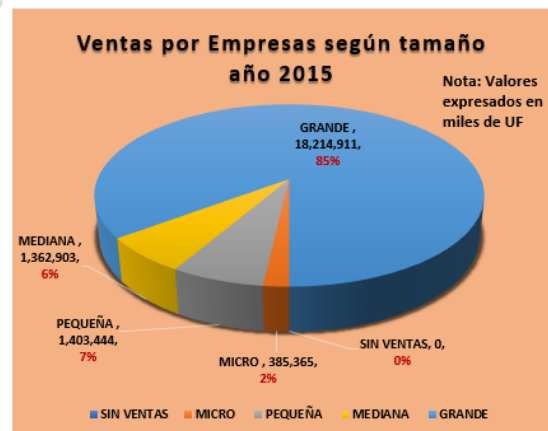


Gráfico 3.2: Volumen ventas según tamaño

(Gráficos elaboración propia a partir de datos del servicio de impuestos internos)

Haciendo un análisis del grupo de las PYME, en la tabla 3.2 se muestra el número de empresas de los sectores primario y secundario y el resto de los sectores de las medianas y pequeñas industrias,

ocupando los sectores primario y secundario (sectores definidos en esta guía) un 25% de este segmento, lo que se muestra también en el gráfico 3.3.

Año 2015: Total Pymes agrupados por sectores de análisis

Total Sectores PYME	299460	100%
Sector Económico Primario	26116	9%
Sector Económico Secundario	47501	16%
Otros Sectores Económicos	225843	75%

Tabla 3.2: Total empresas PYME año 2015

(Tabla elaboración propia a partir de datos del servicio de impuestos internos)

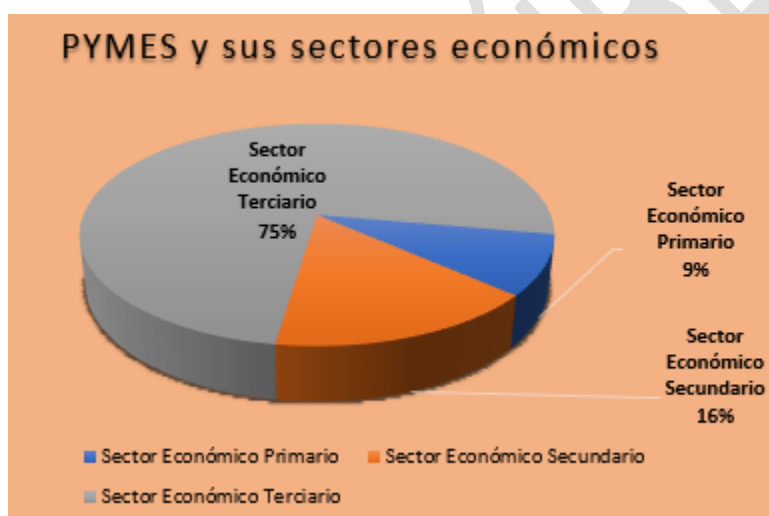


Gráfico 3.1: PYME y sectores económicos que la componen

(Gráfico elaboración propia a partir de datos del servicio de impuestos internos)

4 ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Dentro del ámbito de la Gestión de Activos, cobra especial relevancia el disponer de los activos en forma óptima durante todo su ciclo de vida, también es relevante que el activo opere en forma eficiente, utilizando correctamente la energía que se le entrega para que desarrolle su trabajo. En este aspecto, la eficiencia con la que se usa esa energía es un pilar clave a considerar en la operación de cualquier industria independiente de su tamaño, en esta sección se revisarán los conceptos de energía y de eficiencia energética asociada a los activos de una empresa, mostrando su relevancia en todo el proceso de la gestión de activos, considerando la estrecha relación entre la energía que requieren los procesos para el logro de sus objetivos en términos de calidad y cantidad y la forma de hacer que esta energía sea utilizada en forma provechosa y en niveles óptimos.

4.1 ENERGÍA

En la guía publicada respecto de “Medición y Verificación en la Gestión de Proyectos de Eficiencia Energética” área Agroindustria, explica la **eficiencia energética** de tres maneras:

- Reducción del uso de **energía** sin impactar en el nivel de producción ni en su calidad.
- Hacer más con la misma cantidad de **energía**.
- Optimización de la relación entre los productos o servicios finales obtenidos y la cantidad de **energía** utilizada en su producción.

En los procesos industriales, la energía es la que permite a la industria a partir de la materia prima y mediante el uso de diversos activos (equipos), la transformación en un producto final. En estas transformaciones se emplean distintos tipos de energías, las que podrían ser: eléctrica, mecánica, química, neumática, hidráulica, calórica y muchas otras más. El valor de los productos se ve afectado por la cantidad de energía empleada en su transformación, es por esta razón que utilizar eficientemente los distintos tipos de energía en cada fase del proceso redunda en ventajas competitivas necesarias para enfrentar mercados cada vez más desafiantes.

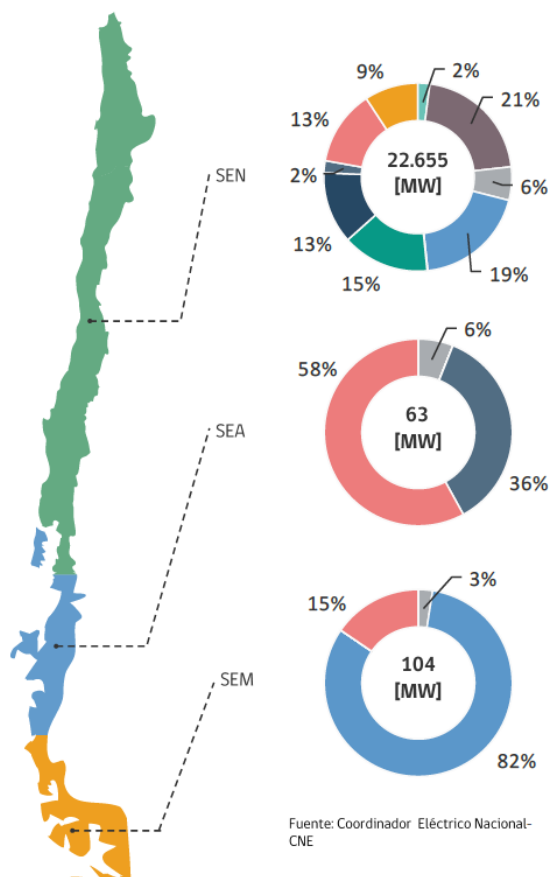
4.2 DEFINICIONES DE ENERGÍA

Existen diversas definiciones de energía, sin embargo, la RAE (Real Academia de la Lengua Española) define la energía, en su acepción 2, como la capacidad para realizar un trabajo. Entonces se puede decir que la energía eléctrica es la capacidad que tiene la electricidad para realizar un trabajo, que la energía mecánica es la capacidad que tienen los mecanismos para realizar un trabajo y así con los distintos tipos de energía

4.3 TIPOS DE ENERGÍA

En el Reporte Mensual del Sector Energético, de la Comisión Nacional de Energía, emitido en julio de 2018, se establece que la matriz energética del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) está constituida de la siguiente forma:

Capacidad instalada neta por tecnología



Capacidad instalada neta por sistema

Sistema	Capacidad [MW]	Capacidad [%]
SEN	22.655	99,3%
SEA	63	0,3%
SEM	104	0,4%
Subtotal	22.822	100%

Fuente: CDEC-SIC / CDEC-SING y CNE



Figura 4.1: Capacidad Instalada de Generación Eléctrica en Chile a julio de 2018.

Fuente: Reporte Mensual Sector Eléctrico, Comisión Nacional de Energía

En febrero de 2015, se publica la ratificación, por parte del congreso del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional) algunos de los compromisos adquiridos por Chile en dicho protocolo son:

1. Fomento de la eficiencia energética.
2. Disminución de las fuentes no controladas de gases de efecto invernadero.
3. Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía.

El cumplimiento de estos compromisos, dentro de los otros adquiridos por Chile en ese protocolo, hace necesario que los procesos productivos sean eficientes no tan sólo en el uso de la energía, sino también en el uso de todos los recursos necesarios para las transformaciones de materias primas a productos finales, incluidos los activos involucrados en dichos procesos.

La función de los activos es transformar la energía siguiendo uno de los principios fundamentales de la ciencia, llamada la Ley de la Conservación de la Energía:

“La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”

Para analizar la ley anterior, correspondiente a la primera ley de la termodinámica, se puede considerar el ejemplo de la Figura 4.2 y un proceso genérico de producción de una empresa que requiere transportar agua desde un estanque exterior hasta las máquinas de lavado, para hacerlo utiliza un sistema de bombeo, donde la bomba es la encargada de impulsar el fluido desde un punto a otro, pero la bomba no puede moverse por si sola, necesita de un motor para dicho objetivo; de igual forma el motor no puede moverse solo, necesita algún tipo de energía.

Para generar movimiento en el motor, lo conectamos a una fuente de energía eléctrica adecuada, al alimentar con esta energía el motor, este gira, y el giro hace que la energía eléctrica de entrada al motor se convierta en energía mecánica en el eje del motor, esta energía mecánica se transfiere a la bomba por mecanismos de acoplamiento, logrando de esta manera el movimiento de la bomba y conseguir el transporte del agua según lo requerido. No toda la energía es transferida al fluido para su desplazamiento, existen algunas pérdidas y en este tipo de mecanismo están asociadas principalmente al roce mecánico. Estas pérdidas de energía en el proceso se presentan en forma de energía calórica.

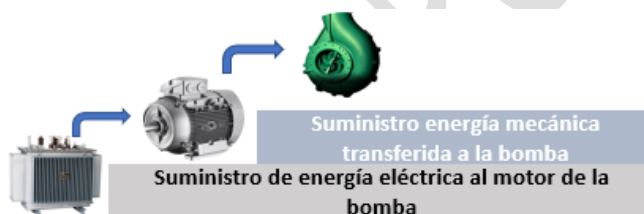


Figura 4.2: Transformación de energía eléctrica en energía mecánica

(fuente: elaboración propia)

La ley de la física mencionada es la que sustenta la transformación de la energía en diferentes formas, según sea la manera de aplicarla, por ejemplo, la energía eléctrica que alimenta una plancha se transforma en energía calórica, una ampolleta transforma la energía eléctrica en energía lumínica (luminosa o simplemente luz). El aporte de la ciencia y el desarrollo del conocimiento humano ha permitido encontrar las formas de transformar las energías de una a otra en forma más eficiente, de manera de aprovechar al máximo la capacidad de la energía original.

Las formas más comunes con que identificamos la energía y es del mismo modo la forma más común disponible para utilizar en la industria es:

- **Energía eléctrica:** Comúnmente se le llama, la electricidad, es la que en mayor parte permite el desarrollo de los procesos productivos

Esta energía es principalmente utilizada para producir el movimiento en toda la línea de producción, alimentando los motores eléctricos que consecuentemente, mediante un proceso de transformación de la energía, permiten el movimiento de bombas, de correas

transportadoras, aportan al funcionamiento de los sistemas de refrigeración o de generación de calor, levantamiento de cargas, transporte de personas, otros.

- **Energía Mecánica:** Es un proceso físico, se le conoce normalmente como trabajo y es el producto del funcionamiento de alguna máquina, si consideramos un sistema de bombeo, la energía mecánica es la que se genera en la bomba a través del eje del motor, como resultado de la transformación de la energía eléctrica de entrada al motor.
- **Energía Calórica:** También conocida como energía térmica, es aquella que se presenta como calor o que es liberada en forma de calor, por ejemplo, el calor del agua que pasa por un intercambiador de calor de placas permite calefaccionar el ambiente, el calor de un equipo de soldar permite fusionar dos metales, entre otros.
- **Energía Neumática:** Es la energía que se encuentra almacenada en los mecanismos de los circuitos neumáticos, que utilizan aire, aceite o agua, para aumentar la presión y liberarla bajo ciertas condiciones de trabajo.
- **Energía Química:** Es la energía contenida en los productos químicos y se libera como producto de una reacción química, normalmente se genera a nivel de átomos o moléculas, por ejemplo, los procesos de combustión (madera, carbón como combustible) liberan la energía química contenida, que inmediatamente se transforma en energía calórica y es la que finalmente se utiliza.
- **Energía Potencial:** Corresponde a la energía que posee cualquier cuerpo debido a su posición en el espacio, por ejemplo, una carga suspendida en altura por un puente grúa, presenta una energía potencial en relación al suelo, ya que si se suelta caerá al suelo producto de la gravedad.
- **Energía Cinética:** Es la energía que tiene un cuerpo que se encuentra en movimiento, siguiendo el ejemplo anterior, si el cuerpo que está en reposo con su energía potencial se soltara, entonces decimos que mientras esté en movimiento tiene energía cinética.

4.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética es la forma de optimizar el uso de las energías en la vida cotidiana, especialmente en la industria, que es donde se concentra su mayor utilización. En la industria se recomienda, por práctica general, realizar las siguientes acciones:

- **Mejoras operacionales:** corresponde a la oportunidad de gestionar las actividades y los recursos disponibles en la empresa de manera eficiente, esto se traduce, en el contexto de esta guía, en la implementación de un Sistema de Gestión de Activos que contemple al menos las actividades de operaciones y mantenimiento.
- **Recambios tecnológicos:** corresponde a la modernización de los procesos productivos, incorporando tecnologías más limpias, amigables con el medio ambiente y con una mayor eficiencia energética. En el contexto de la gestión de activos, esto representa la gestión del área de logística y repuestos, apoyada por el área de mantenimiento y operaciones.

- Cambio cultural: Esto se relaciona, principalmente, con las personas que integran la empresa u organización, en eficiencia implica educación y concientización sobre la forma óptima de gestionar las energías y su importancia en la vida diaria y por lo mismo en la importancia del ahorro, esto representa la gestión del área de recursos humanos de la empresa, la que además de preocuparse de lo anterior, debe asegurar las competencias para la correcta operación y mantenimiento de los activos, apuntando al trabajo en el punto de mayor eficiencia de los equipos.

La invitación que se hace a las empresas es a extremar las medidas para optimizar el uso de los recursos energéticos y las energías que se utilizan en sus procesos productivos, considerando la gestión de activos y su implicancia en la eficiencia energética, apoyándose en los tres pilares anteriores.

A nivel mundial, las empresas que elaboran equipos industriales están trabajando en forma dedicada a elaborar equipos que utilicen menos energía que sus antecesores, sin afectar la capacidad de producción, o bien están elaborando equipos que transforman la energía en una manera más eficiente, en este último concepto las empresas están desarrollando motores de alta eficiencia, lo que significa que la energía mecánica que entregan en el eje del motor es mayor que los motores sin esta característica, para una potencia eléctrica de entrada similar.

4.5 RIESGOS A LAS PERSONAS ASOCIADOS AL USO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA

Los procesos que se desarrollan en la industria objeto de esta guía utilizan de una u otra forma gran parte de las energías explicadas en los párrafos anteriores, al respecto es necesario indicar lo siguiente, desde la perspectiva de los riesgos industriales a los que están expuestos los trabajadores en su día a día en las empresas de las actividades de operación y mantenimiento:

Los riesgos industriales se asocian directamente a las energías presentes en las instalaciones de las empresas, por lo tanto, si las energías son debidamente tratadas y los riesgos asociados a dichas energías son identificados y eliminados o minimizados, los procesos se encuentran seguros para las personas que laboran en la empresa, en caso contrario, los riesgos son muy elevados y pueden generar accidentes que lleguen a ser fatales.

Se indican a continuación algunos riesgos asociados a las energías:

- **Energía eléctrica:** riesgos por electrocución, por cortocircuitos, por incendios generados por cortocircuitos, por explosión en salas eléctricas o tableros de distribución.
- **Energía Mecánica:** riesgos por atrapamiento en equipos en movimiento, ya sea de rotación o traslación o golpes.
- **Energía Calórica:** Riesgos de quemaduras por contacto con calor.
- **Energía Neumática:** Riesgos de ser golpeados por elementos a presión que pueden desprenderse o por exposición a fluidos presurizados.
- **Energía Química:** Riesgos de explosión, riesgos de quemaduras químicas.
- **Energía Potencial:** Riesgos por caídas de cuerpos desde altura, riesgos de caída de personas desde altura.
- **Energía Cinética:** Riesgos por atropellamiento.

5 GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE ACTIVOS

En la gestión de la integridad de los activos participan todas las unidades de negocio de las empresas en todos sus niveles, distribuyéndose en áreas de responsabilidad, según su influencia en la organización. Es la política de Gestión de Activos quien alinea estas responsabilidades y funciones desde el punto de vista del valor.

5.1 GESTIÓN DE ACTIVOS APLICADO A LA INFRAESTRUCTURA DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA



Figura 5.1: Estrategias Alineadas con el Valor del Activo

(fuente: elaboración propia)

Dado que los activos comienzan a aportar valor a la organización desde que son concebidos como parte de un proceso o servicio, es fundamental que las estrategias de todas las unidades se encuentren alineadas con los conceptos, políticas, normas que rigen el sistema de gestión de activos a lo largo de todo el ciclo de vida del activo. La figura 5.1 muestra que todas las estrategias deben estar a un mismo nivel y enfocadas en el valor del activo.

Para los efectos de esta guía nos centraremos en 4 de esas dimensiones para distintas unidades, manteniendo el foco en el valor del activo:

Estrategia de RRHH: la función de esta estrategia es aportar valor a la gestión de activos desde el punto de vista de mantener y gestionar el conocimiento, atraer el talento, manteniendo y promoviendo una cultura de alto desempeño. Centrando la atención en las personas involucradas en la organización. Definiendo roles y responsabilidades precisos para las personas en su ámbito de influencia de la gestión de activos, tanto en las etapas de implementación, como en las de operación del sistema de gestión de activos. Para la gestión de activos no se trata sólo de llenar una posición, se trata de agregar valor en esa posición.

Estrategia de Abastecimiento y Adquisiciones: La función de abastecimiento y toda la cadena de suministros es mantener el aporte de valor del activo, equilibrando los costos de adquisición de los componentes e insumos y su aporte en la generación de valor global de la organización. Debe involucrar a toda la cadena de suministros en el sistema gestión de activos, promoviendo proveedores como socios estratégicos comprometidos con la cadena de valor. No se trata sólo de contratar un servicio o comprar un componente o un insumo, se trata de conservar el valor aportado por los sistemas, insumos, procesos y las personas.

Estrategia de Operaciones: Tiene como función realizar las transformaciones de los activos, utilizando técnicas apropiadas al contexto operacional, insumos de manera eficiente, con costos sustentables. Desde el punto de vista del valor es acá en donde se logran las mayores oportunidades de eficiencia. No se trata sólo de operar se trata de aplicar técnicas, tecnología, conocimiento, talento, experiencia para mantener y mejorar el aporte de valor de los activos.

Estrategia de Mantenimiento: La función es mantener el aporte de valor de los activos a la organización y devolverla cuando se haya perdido, con procesos sustentables en el largo plazo, centrando los esfuerzos en la confiabilidad de los sistemas. No es sólo reparar y reemplazar, es optimizar los ciclos de vida de los activos, con reemplazos de componentes en el momento oportuno, con reparaciones eficaces y fortaleciendo los procesos de aprendizaje ante eventos no esperados.

Para la implementación de un proyecto de Eficiencia Energética que se lleve adelante en el sector industrial, asociado a la pequeña y mediana industria, es relevante que se realice una correcta gestión de los activos considerados en dicho proyecto.

Desde ahora se desarrollan las estrategias de Recursos Humanos, Abastecimiento, Operaciones y Mantenimiento.

6 ESTRATEGIA DE ABASTECIMIENTO

Todo sistema productivo, para asegurar su funcionamiento en forma eficiente, necesita obtener del exterior una serie de insumos que se utilizarán en los procesos de transformación. La gestión de abastecimiento es responsable de suministrar estos recursos y adquiere una importancia fundamental en el desempeño de una industria, condicionando los costos y la capacidad de respuesta al cliente.

Una gestión de abastecimiento de excelencia es parte integral de la estrategia de competitividad de la industria, la mantiene y la valoriza, da un impulso al modelo de operación de con el fin de mantener una ventaja competitiva, logra un equilibrio dentro de las medidas de desempeño operativo competitivas y se concentra sobre un número limitado de prácticas “a medida” que se fortalecen mutuamente con el fin de apoyar el modelo de explotación y alcanzar objetivos de la empresa.



Figura 6.1: Estrategia de Abastecimiento en el Sistema de Gestión de Activos

Como para la gestión de activos no se trata sólo de contratar un servicio o comprar un componente o un insumo, sino que se trata de conservar el valor aportado por los sistemas, insumos, procesos y las personas. La Estrategia de Abastecimiento debe entablar relaciones de socios estratégicos con los proveedores, promover políticas de potenciamiento, desarrollo y participación. Estas políticas facilitan mucho la gestión de la cadena de suministros y retornan con compromiso de parte del proveedor al que se le hace partícipe.

A continuación, se describen los procesos principales asociados a la Estrategia de Abastecimiento, dentro del Sistema de Gestión de Activos, como lo son los suministros de insumos, materiales y repuestos y la gestión de contratos. Todos estos procesos deben tener por objetivo el mantener el aporte de valor de los activos, de acuerdo a lo mostrado en la figura 6.1.

6.1 LOGÍSTICA Y REPUESTOS

Para soportar la gestión de producción y de mantenimiento en una industria se consideran tres aspectos fundamentales, como son.

- Suministro de Insumos y materiales
- Gestión de repuestos
- Contratos de suministros y servicios

La gestión asociada a estos procesos normalmente es realizada por el área de abastecimientos o administración considerando para ello profesionales ad hoc tales como planificador de insumos y materiales, control de inventario y gestión de consumos específicos y costos.

En estos procesos la gestión de eficiencia energética está asociada al adecuado control del consumo de combustible y energía, identificación de repuestos cuyo uso mejore el desempeño del equipo o sistema, adecuado control de repuestos en bodega, y la gestión de contratos de suministros y servicios que optimicen el uso de recursos en cuanto a niveles de inventario y gestión de mano de obra.

6.2 SUMINISTRO DE INSUMOS Y MATERIALES

El stock de insumos, comprende todo aquello que va a formar parte del producto final. El stock de materiales comprende aquello necesario para el proceso de fabricación, que no necesariamente son apreciables en el producto final.

El objetivo del proceso de gestión y suministro de insumos y materiales es planificar y programar los requerimientos de insumos y materiales de la operación de acuerdo a los productos que se manufacturan en la planta de producción. Por otra parte, el responsable del área debe asegurar además la disponibilidad de inventario y controlar el nivel de consumo específico de los insumos y materiales críticos.

Este proceso se inicia con la elaboración de un programa de consumo de insumos y materiales, preparado en función tanto del programa de producción como de los consumos específicos de cada material e insumo. El objetivo de este programa es que se tengan disponibles insumos y materiales en cuanto se requieran por parte del área productiva y de mantenimiento.

El planificador es el responsable de realizar la programación del suministro de insumos y materiales, de esta forma presta un soporte al área de programación de la producción a través de la elaboración de reportes de suministro, consumo e inventario, relevantes para la toma de decisiones.

Algunas actividades relevantes a realizar para el control y suministro de insumos y materiales son:

- Formalizar un programa mensual de consumo para insumos y materiales.
- Dar seguimiento a la recepción e inventario de insumos y materiales para asegurar su disponibilidad en la fecha requerida.
- Generar reportes y KPI que soporten el control de las actividades para la toma de decisiones oportunas dentro de la cadena de suministro.
- Asegurar la emisión de requisiciones y órdenes de compra dentro de los tiempos establecidos.

Una actividad crítica para hacer un uso eficiente de recurso consiste en mantener un control riguroso tanto de los datos como del inventario físico. Se debe verificar constantemente si los números de control de inventario concuerdan con el de stock físico. Es importante comprender que el control debe ser tanto físico como financiero, es decir, los números deben coincidir al final del balance.

Las consideraciones necesarias para mejorar la eficiencia energética apuntan a llevar un registro diario de consumos de combustible y energía eléctrica para los procesos principales y realizar un balance mensual del consumo de dichos productos de manera de compararlos con el nivel de producción real y así obtener valores específicos expresados en unidades de combustible por unidades de producción.

Por ejemplo, en el caso de combustibles podrá ser toneladas de combustible (o m³, Lt, kWh, kcal de combustible) dividido por toneladas de producto producido (o unidades de producto producido). En el caso de la energía eléctrica podrá ser kWh consumidos dividido por toneladas de producto producido.

De esta forma es posible efectuar una comparación del consumo real de energía con respecto a la producción y detectar desviaciones y brechas. Identificando las causas de la desviación se podrán determinar el rendimiento y/o pérdidas de los diferentes sistemas productivos y, en base a ello establecer planes de corrección u optimización de consumo de combustible y energía eléctrica.

6.3 REPUESTOS Y MATERIALES

Uno de los aspectos relevantes al incorporar la gestión de activos en los procesos de gestión y, posteriormente a la definición de la estrategia de mantenimiento es dimensionar adecuadamente el stock de repuestos, seleccionando con cuidado lo que debe tener en bodega disponible en forma inmediata. Al seleccionar el repuesto que debemos mantener en stock en una planta industrial, nos encontramos con dos visiones:

- Desde el punto de vista técnico, cuantas más piezas de repuesto tengamos en el almacén más aseguraremos la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos.
- Desde el punto de vista económico, cuantas menos piezas haya almacenadas, menor capital inmovilizado tendremos.

Por ello, debemos buscar fórmulas que nos permitan asegurar la disponibilidad de los equipos con el mínimo capital inmovilizado posible. A continuación, se describe el proceso para determinar los repuestos que deben permanecer en planta con unos criterios que tratan de buscar un compromiso adecuado entre lo estrictamente financiero y lo estrictamente técnico.

Criticidad de Equipos

Antes de iniciar el trabajo de determinar el stock de repuestos, es necesario analizar los equipos y determinar su importancia. Esto se denomina Análisis de Criticidad y establece tres categorías para los diferentes equipos de la planta: criticidad Alta; Media y Baja. Lógicamente, el inventario de la bodega de repuestos estará formado principalmente por componentes de equipos de criticidad alta, y en menor medida, por componentes de equipos de criticidad media y baja.

A continuación se muestra, a modo de ejemplo, la matriz sugerida para realizar el análisis de criticidad en función de la frecuencia de falla y las consecuencias de la falla. Los valores asociados al costo de pérdida de producción y costo de reparación dependerán de cada tipo de industria, sin embargo, como regla general ambos conceptos se asocian valores preestablecidos en los presupuestos de operación y mantenimiento tales como el costo de producción por hora, o cantidad de producto por hora, con ello se hacen comparable las consecuencias de falla v/s el presupuesto de la empresa.

Matriz de Criticidad											
Frecuencia de Falla	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Consecuencia (CPP+CCR)

Valor	Frecuencia de Falla
1	1 cada 2 años
2	1 por año
3	entre 2 y 12 por año
4	entre 13 y 51 por año
5	más de 52 por año

Valor	Consecuencia Pérdida de Producción (CPP)
1	menor a 1.0 M\$
2	entre 1.0 y 5.0 M\$
3	entre 5.0 y 10 M\$
4	entre 10 y 50 M\$
5	más de 50 M\$

Valor	Consecuencia Costo Reparación (CCR)
1	menor a 1.0 M\$
2	entre 1.0 y 5.0 M\$
3	entre 5.0 y 10 M\$
4	entre 10 y 50 M\$
5	más de 50 M\$

Tabla 6.1: Matriz de Criticidad

Frecuencia de falla: La frecuencia de falla se determina en función del análisis histórico de mantenimiento para cada equipo y/o en función de información del mercado o del fabricante.

Consecuencias: Se identifican dos consecuencias básicas:

- **Pérdida de Producción:** asociada a la detención del equipo o sistema. La pérdida de producción será particular para cada tipo de industria y se podrá determinar en función de las horas de detención y el costo asociado a ellas.
- **Costo de Reparación:** es el costo asociado a la reparación/mantenimiento del equipo. Es la segunda consecuencia básica y este costo se debe determinar en función del costo de repuestos, materiales, recursos propios y servicios que involucró la reparación.

Considerando estos tres aspectos es posible determinar la criticidad por cada equipo y así generar el ranking por criticidad y la estrategia de repuestos necesaria.

La tabla siguiente se propone para llevar el registro de equipos y criticidad:

Ítem	Equipo	Frecuencia de Falla	Pérdida de Producción	Costo Reparación	Valor Criticidad	Criticidad		
						Alta	Media	Baja
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Tabla 6.2: Registro de equipos y criticidad

6.3.1 TIPOS DE REPUESTO

Podemos dividir el universo de repuestos en 6 tipos característicos:

1. **Piezas sometidas a desgaste:** a este grupo pertenecen aquellos elementos que unen piezas fijas y móviles, o aquellas partes en contacto con fluidos, como rodamientos, retenes y juntas. Son piezas sometidas a desgaste y a abrasión. En este grupo también podemos incluir rodets y tuberías sujetas a fatiga, corrosión y cavitación.
2. **Consumibles:** son aquellos elementos de duración inferior a un año, con una vida fácilmente predecible, de bajo costo, que generalmente se sustituyen sin esperar a que den síntomas de mal estado. En general corresponde a filtros y lubricantes. Su fallo y su desatención pueden provocar graves averías.
3. **Elementos de regulación y mando:** son aquellos elementos cuya misión es controlar los procesos y el funcionamiento de la instalación: válvulas, instrumentos, sensores, etc. Son elementos que a pesar de no estar sometidos a condiciones desfavorables de funcionamiento tienen una importancia capital dentro del equipo. La causa principal de su fallo es la fatiga.

- 919 4. Piezas móviles: son aquellas destinadas a transmitir movimiento. Son engranajes, ejes, correas,
920 cadenas, reductores, etc. La causa principal de su fallo es la fatiga.
- 921 5. Componentes electrónicos (instrumentación): a pesar de su altísima fiabilidad, un problema en
922 ellos suele suponer una parada del equipo. Principalmente falla por calentamiento, cortocircuito
923 o sobretensión, y generalmente se producen al someter al equipo a unas condiciones de trabajo
924 diferentes para las que fueron diseñados. Un ejemplo habitual es un fallo en otro elemento que
925 provoca un funcionamiento anormal del equipo; otro puede ser trabajar en condiciones
926 atmosféricas extremas de calor, frío, humedad o polvo.
- 927 6. Piezas estructurales: difícilmente fallan, al estar trabajando en condiciones muy por debajo de
928 sus capacidades. Son bastidores, soportes, vigas, pilares, etc.

930 Necesidad de stock en bodega.

931 Desde este punto de vista, podemos dividir los repuestos en dos categorías:

- 932 • Piezas que es necesario mantener en stock en bodega.
- 933 • Piezas que es necesario tener localizadas, con proveedor, teléfono y plazo de entrega.

935 6.3.2 ASPECTOS EN LA SELECCIÓN DEL REPUESTO

936 Hay cuatro aspectos que debemos tener en cuenta para determinar la criticidad del repuesto a la hora
937 de definir si es necesario mantener el stock de dicho repuesto en bodega: impacto en eficiencia
938 energética, nivel de consumo, plazo de entrega, costo.

- 939 • Impacto en Eficiencia Energética: El uso de algunas piezas o repuestos pueden generar un mejor
940 desempeño energético del equipo o sistema, en cuanto al consumo de energía se refiere, es
941 necesario considerar esta variable para determinar la necesidad de mantener estos repuestos
942 en stock ya que su remplazo en forma oportuna permitirá un adecuado control de los consumos
943 de energía y desempeño del sistema o equipo y del costo de operación.
- 944 • Nivel de consumo: Tras el análisis del histórico de averías, o de la lista de elementos adquiridos
945 en periodos anteriores (uno o dos años), puede determinarse los elementos que se consumen
946 habitualmente. Todos aquellos elementos que se consuman habitualmente y que sean de bajo
947 costo deben considerarse como firmes candidatos a pertenecer a la lista de repuestos en stock.
948 Por ejemplo, los elementos de bombas que no son críticas pero que frecuentemente se averían,
949 deberían estar en stock (retenes, rodets, cierres, etc.). También, aquellos consumibles de
950 cambio frecuente (aceites, filtros) deberían considerarse.
- 951 • Plazo de entrega: Algunas piezas se encuentran en stock permanente en proveedores cercanos a
952 la planta. Otras, en cambio, se fabrican bajo pedido, por lo que su disponibilidad no es
953 inmediata, e incluso, su entrega puede demorarse meses. Aquellas piezas que pertenezcan a
954 equipos críticos cuya entrega no sea inmediata, deberían integrar el inventario de la bodega de
955 repuestos. Aquellas piezas que aún no pertenecientes a equipos críticos, puedan suponer que

un equipo permanezca largo tiempo fuera de servicio deben considerarse igualmente en esa lista.

- Costo: Puesto que se trata de tener un almacén con el menor costo posible, el precio de las piezas formará parte de la decisión sobre el stock de las mismas. Aquellas piezas de gran precio (grandes ejes, coronas de gran tamaño, equipos muy especiales) no deberían mantenerse en stock y, en cambio, deberían estar sujetas a un sistema de mantenimiento predictivo eficaz. El costo es, pues, un aspecto fundamental.

6.3.3 PROCESO PARA CONFECCIONAR LA LISTA DE REPUESTOS

1. Seleccionar el equipo crítico.
2. Identificar la estrategia de mantenimiento (Capítulo 9.1) definida para cada equipo crítico.
3. Seleccionar el repuesto crítico de esos equipos en función de:
 - Impacto en la eficiencia energética
 - Repuesto de gran consumo por falla o recambio
 - Piezas con largo tiempo de reposición
 - Costo del repuesto

La tabla siguiente se propone para llevar el registro de equipos y repuestos críticos.

Ítem	Equipo	Críticidad			Estrategia de Mantenimiento			Nombre de Repuesto	Descripción	Impacto EE		Consumo Anual kWh	Plazo de Entrega (meses)	Costo		Mantener en Bodega			
		Alta	Media	Baja	Correctiva	Por Frecuencia	Por Condición			Sí	No			USD	No	Sí	Cantidad		
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			

Tabla 6.3: Registro de equipos y repuestos críticos

6.4 OPTIMIZACIÓN DE LA BODEGA DE REPUESTOS

Los modelos de control de inventario son diversos y varían entre diferentes empresas, sin embargo, existen varios modelos estándar que las empresas pueden adoptar. A continuación, presentamos tres de ellos: el stock mínimo (o sistema de dos cajones); el stock de renovación periódica y el stock para un fin específico.

- Stock mínimo. El concepto lleva el nombre de stock de dos cajones porque se basa exactamente en un mueble con dos cajones o gavetas. Cuando el contenido del primer cajón se agota (es decir, de la porción principal del stock), el contenido del segundo se pasa a la primera. Esto genera un pedido de abastecimiento de la segunda, sin perjudicar el flujo normal de stock, pues existe una especie de reserva. Es útil principalmente para empresas con presupuesto ajustado.
- Stock de renovación periódica. En este tipo de control de stock, la renovación acontece en un período predeterminado. Es importante estar atento a que la cantidad de producto que se adquiere sea suficiente para que alcance hasta el momento del siguiente pedido.
- Stock para fin específico. También conocido como stock de control de materiales, normalmente se atiende al plan u orden de producción. Puede situarse en la etapa de reposición de materiales.

Recomendaciones prácticas para un adecuado control de inventario:

- Optimiza el espacio, cuanto mayor sea el área ocupada por el stock, menor es el espacio disponible para otro tipo de actividades industriales.
- Mantén el área organizada, destinar un lugar para cada tipo de producto facilita mucho la gestión y optimiza el control de inventario.
- Nunca mantenga más stock de lo necesario, ocasiona un perjuicio impactando en el costo y uso de recursos.
- El stock debe coincidir con el flujo de caja de la institución, el stock no debe ser grande cuando el flujo de caja es bajo, ni viceversa.
- Es importante que el nivel del stock acompañe el programa de operación y mantención.

Se pueden identificar tres iniciativas para optimizar la bodega de repuestos:

1. Optimización de los procesos en la fase de diseño.

De manera genérica, en la fase de diseño es posible minimizar el stock de repuesto de la siguiente forma:

- Eliminando componentes. Los diseños robustos y con pocas piezas son preferibles. Esto es especialmente válido para la instrumentación.
- Estandarización. Todos los componentes de función similar deben ser exactamente iguales.
- Evitar piezas a medida. Debe tratar de utilizarse en sistema del proceso solo piezas estándar.

2. La estrategia de mantenimiento

Una estrategia de mantenimiento preventivo tendrá un consumo de piezas de segundo nivel como por ejemplo rodamientos, juntas, retenes o filtros, programado, en cuyo caso el costo de inventario será menor que mantener piezas de primer nivel en bodega, por ejemplo, ejes, motores o bombas.

1013 3. Piezas en stock de proveedores.

1014 Es posible pactar con determinados proveedores la creación de una bodega de materiales en la propia
1015 empresa, pero cuyo costo inmovilizado corra por cuenta del proveedor. Esto es especialmente válido
1016 para la instrumentación, para las piezas de ferretería industrial, y para los sistemas neumáticos.

1017 6.5 CONTRATOS DE SUMINISTROS Y SERVICIOS

1018 Como definición estandarizada indicaremos que un contrato es un acuerdo entre el comprador y
1019 proveedor donde existen obligaciones y derechos para ambas partes. Un contrato puede variar desde
1020 una simple orden de compra y su aceptación hasta un contrato escriturado complejo o extenso. Entre
1021 ambos extremos podemos encontrar distintos matices, con contratos escriturados simples y breves.

1022 En el caso de contratos de suministros, estos harán referencia a proveer insumos, materiales o
1023 repuestos a la industria. En el caso de contratos de servicios estarán asociados a proveer servicios en las
1024 áreas de operaciones o mantenimiento.

1025 Los tipos de contratos más utilizados corresponden a contratos a suma alzada y contratos a precio
1026 unitario.

1027 • **Contrato a Suma Alzada.**

1028 Es aquél en el cual se estipula un monto global por la ejecución total del servicio u obra. El
1029 contrato debe especificar las condiciones, plazos, precio fijo, entre otras. No obstante, este
1030 último podría ser reajutable según el tipo de acuerdo que se tenga entre las partes. De este
1031 modo, no importa la cantidad de trabajo, recursos que el contratista estipule y/o ejecute, ya que
1032 la suma alzada pactada es invariable, si es que no se realizan cambios en el tipo de encargo.

1033 Este tipo de contrato en cuanto a la calidad de lo solicitado es difícil de administrar, debido a
1034 que se tiene que inspeccionar el avance de los trabajos, y cada una de las etapas para que vayan
1035 de acorde a lo requerido.

1036 Este tipo de contrato resulta ser más efectivo cuando existe una menor incertidumbre en el
1037 alcance y la especificación del trabajo a realizar.

1038 • **Contrato a Precio Unitario.**

1039 En este tipo de contrato se pacta el precio por unidades de los distintos elementos que
1040 comprenden el Trabajo o Servicio. El valor total es la suma de los valores que resulten de
1041 multiplicar las cantidades de tales elementos por el precio de cada uno, dentro de los límites
1042 que en el contrato se fijen. Este puede establecer algún mecanismo de reajuste.

1043 En ocasiones, los contratos por precio unitario definen el monto inicial solo en forma referencial.
1044 Bajo este concepto, la ejecución de mayores cantidades que las previstas, aumentarán el costo,
1045 y en caso contrario disminuirán. Por esto, a menudo se habla de un contrato pagado por
1046 cantidad.

La gestión de contratos es un proceso asociado a la definición estratégica de externalizar compras o servicios, esta debe ser una tarea permanente y no solo asociado a eventos o requerimientos aislados, las actividades clave para el proceso se muestran en la figura siguiente:

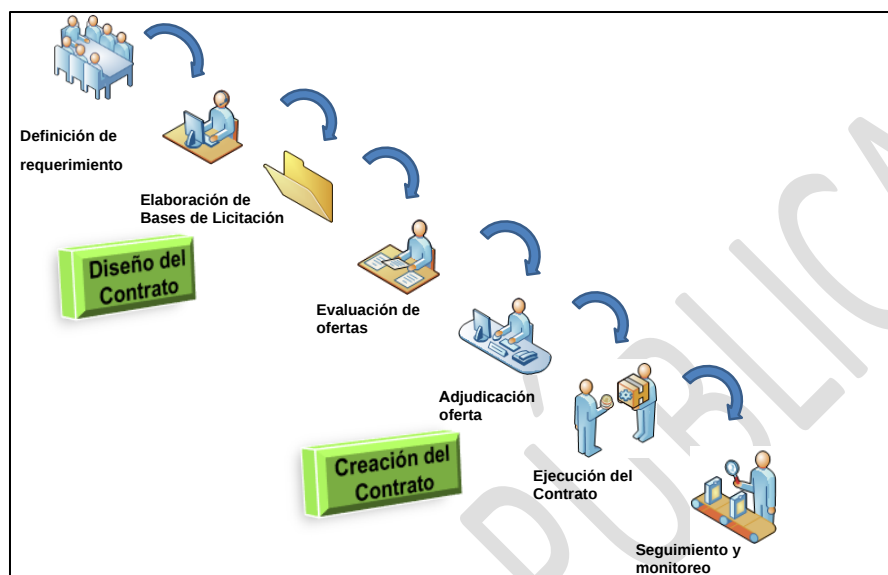


Figura 6.2: Proceso de Gestión de Contratos

Las actividades claves para la gestión de contratos de cualquier tipo son:

- Elaborar las bases de licitación, en general los documentos elaborados en esta etapa deben indicar.
 - Objetivo del servicio y su alcance.
 - Procedimiento de trabajo.
 - Criterios de medición y verificación del uso eficiente de las energías involucradas en el servicio.
 - Identificación del aporte de valor del servicio en el Sistema de Gestión de Activos, mediante indicadores específicos.
 - Acuerdos de niveles de servicios como stocks de repuestos, tiempos de respuesta, cumplimientos.
 - Plazo de ejecución.
 - Forma de pago, garantías y multas.
 - Formato de propuesta económica.

En esta etapa se definen además los criterios de evaluación técnica y criterios de evaluación económicos, así como el polinomio de evaluación que correlaciona ambos conceptos.

- Etapa de evaluación y adjudicación de ofertas se ejecuta en función de los criterios preestablecidos tanto para la oferta técnica como para la oferta económica, ambos análisis se correlacionan habitualmente en función de un polinomio que pondera los aspectos técnicos y los aspectos económicos de la propuesta.
- Ejecución del contrato, corresponde a la recepción de productos o ejecución de los servicios contratados, en esta etapa se debe controlar la calidad de los productos o servicios en función de lo indicado en las bases de licitación y lo efectivamente adjudicado, se deben gestionar los estados de pago, gestionar la modificación o término anticipado del contrato.
- Seguimiento y monitoreo, en esta fase se debe registrar y evaluar el desempeño del contrato en función del KPI establecido en la etapa de licitación, como recomendación los KPI deben estar asociados a parámetros de calidad de servicio o producto, uso eficiente de la energía, control de desviaciones u órdenes de cambio, aspectos de seguridad, desempeño económico, plazos de ejecución y uso eficiente de recursos.

Los beneficios de realizar una adecuada gestión de contratos, en el marco de un Sistema de Gestión de Activos, son varios, por una parte, permite seleccionar al mejor proveedor de un servicio específico, es decir, aquel que mejor satisface las necesidades y expectativas de la empresa, con un compromiso claro en el aporte de valor de su servicio, también permite maximizar la disponibilidad de los servicios contratados, dado que, ante una falla o problema del servicio, existe un procedimiento claro para canalizar el reclamo y posterior reparación.

Una adecuada gestión de contratos permite, además, reconocer si las actuales condiciones del contrato son o no convenientes para la empresa.

Se recomienda designar a un responsable de la administración y gestión de contratos, que corresponda a un profesional con perfil técnico y conocimiento de administración y control de gestión.

En general, un contrato que considere el uso eficiente de las energías involucrada en el servicio aportará mucho más valor que uno que no la considera.

7 ESTRATEGIA DE RECURSOS HUMANOS

Cuando la estrategia de recursos humanos está inserta dentro de un sistema de gestión de activos posee una visión general del valor de la organización en su conjunto, de esta manera puede identificar todas las necesidades y requerimientos de las unidades de negocio, respondiendo de acuerdo a los parámetros establecidos en la política y en las metas de cada una de las áreas.



Figura 7.1: Estrategia de RRHH en el Sistema de Gestión de Activos

Recordando que para la gestión de activos no se trata sólo de llenar una posición, se trata de agregar valor en esa posición, es que comienzan a tener sentido las inducciones, planes de capacitación, pasantías, promociones, asignaciones, ampliaciones de la planta, estructura organizacional, evaluaciones de desempeño y otras actividades propis de la función de RRHH. La Estrategia de Recursos Humanos también debe estar enfocada en el valor del activo, porque es el activo el que establece los requerimientos de habilidades, capacidades y experiencias.

Cuando una organización trabaja en función de la gestión de activos, tiene siempre presente que uno de los activos más importantes son las personas que integran su organización. Por ello, es de relevancia tener una correcta definición de la estructura organizacional en cada una de sus áreas, como operaciones, mantenimiento, ventas, abastecimiento, otros.

Adicionalmente, una función primordial en esta área es la de tener debidamente aprobados los perfiles de los cargos que forman su organización, donde se indica el conocimiento necesario y las competencias que debe tener cada trabajador en su puesto de trabajo, esto permite generar canales adecuados de capacitación y aprendizaje continuo, entre otros.

De esta forma, el área de recursos humanos es responsable, entre otros, por el desarrollo profesional de las personas para que se desempeñen con las competencias necesarias acorde a las funciones que deben desarrollar en su área de influencia, como apoyo a la gestión de activos. En la Figura 7.2 **No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los componentes de las competencias laborales que es la capacidad de vincular conocimientos, a través del “saber” y destrezas del “hacer” con las actitudes del “saber ser”.



Figura 7.2: Competencia laboral

(fuente: <https://competenciasjuan.wordpress.com>)

En relación con el tema del desarrollo profesional, que normalmente se ve con cierta preocupación por los efectos que esto significa, recordar lo que dijo Henry Ford y que ha pasado a formar parte de las citas clásicas en las organizaciones:

“Solo hay algo más caro que formar a las personas y que se marchen, no formarlas y que se queden”

7.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Para el éxito de una estrategia de gestión de activos es necesario contar con una estructura organizacional que responda a los desafíos planteados en la estrategia. La forma que tenga esta estructura se determina en función de los presupuestos disponibles y los requisitos de los activos para continuar entregando valor a la organización.

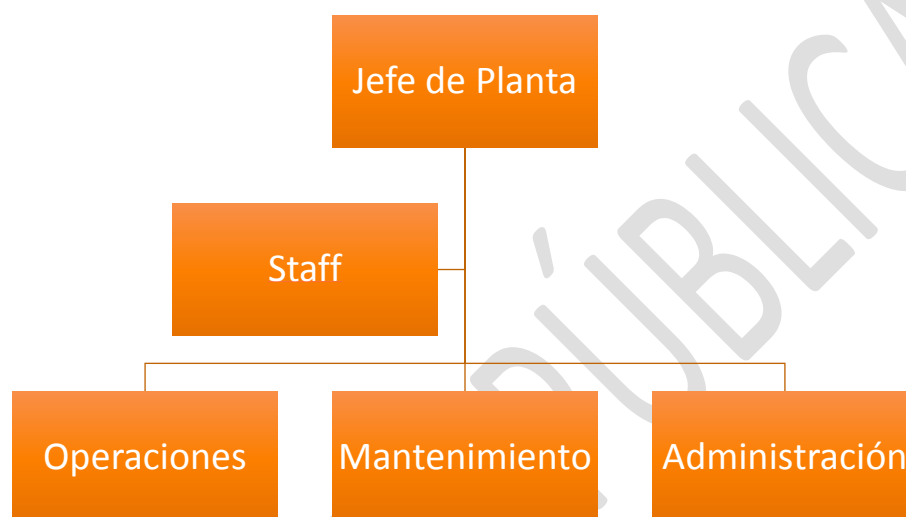


Figura 7.3: Típica organización Operación y Mantenimiento

Las especialidades más habituales que componen el equipo de operaciones y mantenimiento son las siguientes:

- **Operación.** Las tareas de este tipo son llevadas a cabo por el personal que realiza la operación de la instalación, y normalmente se trata de inspecciones sensoriales que se realizan muy frecuentemente, como las lecturas de datos.
- **Infraestructura y Obras Civiles.** Los trabajos de este tipo están relacionados con profesionales para trabajos de pintura, hormigones, estructuras metálicas, aislación térmica, etc.
- **Mecánica.** Las tareas de este tipo requieren especialistas en montaje y desmontaje de equipos, en ajustes, alineaciones, trabajos de lubricación, comprensión de planos mecánicos, etc.
- **Electricidad.** Los trabajos de este tipo exigen que los profesionales que los llevan a cabo tengan una fuerte formación en electricidad, bien en baja, media o alta tensión.
- **Instrumentación.** Los trabajos de este tipo están relacionados con profesionales con formación en electrónica, además de poseer una formación específica en verificación y calibración de instrumentos de medida.
- **Predictivo.** Esta especialidad incluye, análisis de vibraciones, termografías END (Ensayos No destructivos) entre otras técnicas. Los profesionales que las llevan a cabo son generalmente

1161 técnicos especialmente entrenados en estas técnicas y en las herramientas que utilizan para
1162 desarrollarlas.
1163

1164 7.2 DISEÑO ORGANIZACIONAL

1165 El diseño organizacional es el proceso de construir y ajustar la estructura de la organización para
1166 conseguir sus objetivos. El proceso, que tiene como base las metas de la empresa, convierte estas en
1167 tareas que, a su vez, sirven de base para la definición de los puestos de trabajo. Los puestos de trabajo
1168 se conectan para formar departamentos, y estos se enlazan para formar la estructura organizacional. En
1169 la tabla 7.1 se identifican las funciones fundamentales para una pequeña y mediana industria y las
1170 tareas que se vinculan a cada función.

1171 Se observa en el cuadro anterior la identificación de 3 funciones fundamentales, donde no se contempla
1172 la función comercial ya que está sujeta a planes y estrategias de mayor especificidad:

- 1173 i) Administración general, que contempla el seguimiento de la normativa legal vigente,
1174 velando por el cumplimiento legal tributario, medioambiental y laboral principalmente.
1175 Además, debe velar por el oportuno aprovisionamiento de materiales y equipos, así como
1176 de la administración del personal.
- 1177 ii) Operación de la industria, entendiendo acciones de operación de terreno y otros que se
1178 desarrollan en las salas de control.
- 1179 iii) Mantención de la industria que contempla tareas en todos sus componentes: eléctricos,
1180 mecánicos y de sistemas.

1181

1182

Funciones Fundamentales	Tareas Principales
Administración de la Industria	1. Gestionar Contratos 2. Cumplir normas de seguridad 3. Elaborar la estrategia de compras 4. Gestionar proceso administrativo en la adquisición de bienes y servicios 5. Realizar proceso de adquisición de bienes y servicios 6. Coordinar recepción y entrega de materiales, según normas de seguridad y medioambiente 7. Controlar inventario 8. Gestionar contratación de personal de acuerdo a reglamentos, leyes, normas de seguridad, calidad y medioambiente vigentes 9. Consolidar información y controlar la documentación de trabajadores 10. Supervisar y controlar pago de remuneraciones 11. Mantener registros contables de los activos y pasivos de la empresa 12. Resguardar la mantención de documentos de respaldo de la contabilidad de la empresa de acuerdo a la normativa legal vigente
Operación de la planta industrial	13. Controlar el proceso industrial desde el panel de control 14. Controlar la eficiencia del proceso a través de los parámetros definidos 15. Verificar en terreno los parámetros operativos 16. Verificar la continuidad del proceso industrial 17. Verificar sistemáticamente el estado general de los equipos
Mantención de los equipos industriales	18. Realizar mantenimiento a equipos mecánicos 19. Realizar mantenimiento a equipos y sistemas de suministro de insumos básicos e instalaciones 20. Mantener motores y generadores eléctricos de equipos industriales 21. Mantener medidores de energía 22. Mantener protecciones en sistemas eléctricos de potencia 23. Mantener interruptores y conectores 24. Realizar cambio de parámetros de motores con herramientas electrónicas 25. Diagnosticar sistemas de control neumático 26. Mantener controladores de proceso 27. Mantener sistemas de control 28. Mantener variadores de frecuencia 29. Elaborar el plan de mantenimiento operacional y programa de trabajo 30. Realizar seguimiento y control al plan de mantenimiento

1183

1184

Tabla 7.1: Funciones Fundamentales de la pequeña y mediana Industria

1185

Fuente: Elaboración propia

1186

7.3 ORGANIGRAMA

1187

Una estructura organizacional se puede representar mediante un organigrama, que es la representación

1188

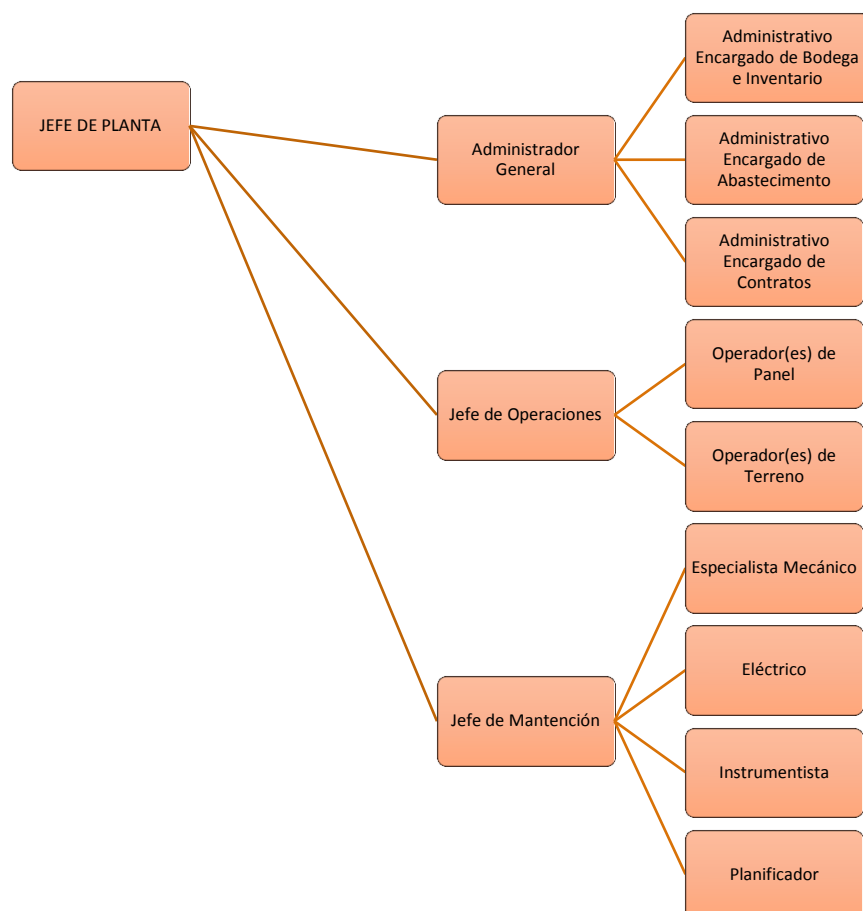
visual de la delegación de responsabilidades en una organización. Los organigramas también deben

1189

responder al plan estratégico de la organización. De manera intuitiva las personas en una organización

1190 tienen una percepción del organigrama, pero mantener un organigrama formalizado y actualizado es
1191 recomendable para todas las organizaciones.

1192 En general se destacan 3 líneas formales de autoridad en un organigrama:



1193

1194 *Figura 7.4: Organigrama Propuesto.*

1195 Fuente: elaboración propia

1196 7.4 PERFILES DE CARGO

1197 La correcta definición de los perfiles de cargo juega un papel muy importante en la eficiencia y eficacia
1198 de una empresa. Los perfiles de cargo permiten tener claras las capacidades que la empresa necesita de
1199 las personas que van a acceder a determinado puesto. La definición del perfil nos permite determinar
1200 además las características del puesto de trabajo, habilidades, destrezas, competencias conductuales y
1201 conocimientos técnicos que se requieren para realizar el trabajo. Posterior a su definición se pueden
1202 llevar adelante los procesos de reclutamiento y selección.

1203 A continuación, se presentan los perfiles de cargo identificados para cada una de las funciones
1204 fundamentales, basados en la definición de perfiles que realiza ChileValora:

- 1205 1. Administrador General: Responsable del correcto y óptimo desempeño administrativo de la
1206 planta industrial direccionando los procesos de abastecimiento, de aprovisionamiento de
1207 insumos, materiales y equipos, administrando los contratos de acuerdo con el direccionamiento
1208 general. Debe resguardar el cumplimiento de la normativa legal vinculada, y generar
1209 información de manera oportuna, confiable y veraz con sentido de transparencia que permita
1210 una adecuada y correcta toma de decisiones. Además, debe liderar los procesos, del cual es
1211 responsable, dentro del Sistema de Gestión de Activos.
- 1212 2. Jefe de Operaciones: Responsable de supervisar las operaciones del proceso de producción de
1213 acuerdo al sistema de gestión de calidad y las buenas prácticas de la industria. Debe gestionar
1214 los recursos necesarios para el cumplimiento exigido, administrando verazmente la información,
1215 e instruyendo y administrando al personal que le reporta directamente en sus tareas diarias y en
1216 los resultados del desempeño individual. En el Sistema de Gestión de Activos es el principal
1217 responsable del aporte de valor de los activos.
- 1218 3. Jefe de Mantención: Responsable de supervisar, coordinar y controlar las actividades de
1219 mantenimiento de equipos de la industria. Incluye la supervisión del cumplimiento de las
1220 normas de higiene, seguridad, calidad y ambiente por parte del equipo de trabajo, la
1221 programación de las actividades de mantenimiento realizando la asignación de recursos
1222 humanos, materiales y tiempos de ejecución, de acuerdo a las necesidades del cliente, el plan
1223 de mantenimiento y la disponibilidad insumos y repuestos. En el Sistema de Gestión de Activos
1224 es el responsable de mantener el aporte de valor de los activos o restaurarlo cuando se pierde.
- 1225 4. Administrativo Encargado de Bodega e Inventario: Responsable de operar una bodega de
1226 insumos y materiales, almacenando y controlando los insumos y materiales de ésta,
1227 actualizando los stocks de acuerdo a programa de reposición. Debe velar por la integridad de los
1228 activos durante todo el tiempo que estén bajo la responsabilidad de la bodega, protegiendo el
1229 futuro aporte de valor al proceso productivo.
- 1230 5. Administrativo Encargado de Abastecimiento: Responsable de recoger y gestionar los
1231 requerimientos de compra de las distintas unidades y utilizar los mecanismos de compra y
1232 abastecimiento indicados en la normativa de la industria para satisfacer estos requerimientos de
1233 manera eficaz y oportuna. Es fundamental que establezca un equilibrio entre el costo del bien
1234 con el valor que aportará en el proceso, desde la perspectiva del Sistema de Gestión de Activos.
- 1235 6. Administrativo Encargado de Contratos: Responsable de elaborar propuestas a licitaciones y
1236 realizar la gestión y control administrativo de la ejecución del contrato. Es responsable de la
1237 ejecución de actividades para la preparación y presentación de ofertas/propuestas a procesos
1238 de licitación, resguardando el cumplimiento de los plazos establecidos y la normativa vigente
1239 asociada. Así mismo, incluye la gestión y control administrativo de la ejecución del contrato,
1240 velando por el cumplimiento de los alcances y especificaciones del mismo y la utilización
1241 efectiva de los recursos, maximizando la agregación de valor a la empresa. También es
1242 fundamental que establezca un equilibrio entre la tarifa del servicio con el valor que aportará en
1243 el proceso, desde la perspectiva del Sistema de Gestión de Activos.

- 1244 7. Operador de Panel: Responsable de monitorear el proceso de producción, controlando las
1245 variables críticas para asegurar la calidad del producto y el cumplimiento del plan de
1246 producción, Además, es responsable del monitoreo de las tareas operacionales para que los
1247 activos realicen el aporte de valor de acuerdo a los parámetros de diseño y planes de
1248 producción.
- 1249 8. Operador de Terreno: Responsable de operar los equipos de proceso de la industria en
1250 particular, identificando las condiciones operativas y la seguridad en terreno. Además, es
1251 responsable de la ejecución de las tareas operacionales para que los activos realicen el aporte
1252 de valor de los sistemas productivos.
- 1253 9. Especialista Mecánico: Encargado de realizar mantenimiento mecánico correctivo y diagnósticos
1254 especializados en equipos de plantas de procesamiento. Además, es responsable de la ejecución
1255 de las tareas para mantener o restaurar el aporte de valor de los sistemas mecánicos.
- 1256 10. Eléctrico: Encargado de realizar mantenciones a componentes y sistemas eléctricos de equipos y
1257 herramientas utilizadas en la industria. Además, es responsable de la ejecución de las tareas
1258 para mantener o restaurar el aporte de valor de los sistemas eléctricos.
- 1259 11. Instrumentista: Encargado de realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo a
1260 sistemas de instrumentación en procesos industriales. Además, es responsable de la ejecución
1261 de las tareas para mantener o restaurar el aporte de valor de los sistemas de instrumentación y
1262 control.
- 1263 12. Planificador: Encargado de elaborar el plan de mantenimiento para los equipos de planta de
1264 acuerdo a la estrategia definida por la organización, controlando su ejecución. Debe mantener
1265 en el mediano y largo plazo el aporte de valor de los activos, de acuerdo a los planes de
1266 producción y el Plan Estratégico de Gestión de Activos.

1267

1268 7.5 PLAN DE CAPACITACIÓN

1269 El Plan de Capacitación es de vital importancia para las empresas porque mantiene el talento de la
1270 organización a niveles competitivos con el resto de la industria. La obsolescencia tecnológica y las
1271 nuevas técnicas operacionales pueden ser traspassadas a la organización a través de un plan de
1272 capacitación efectivo. La capacitación tiene la función de mejorar el presente y ayudar a construir un
1273 futuro en el que la fuerza de trabajo esté organizada para superarse continuamente, esto debe
1274 realizarse como parte de un proceso continuo, siempre en relación con el puesto de trabajo y las metas
1275 de la organización.

1276 En el escenario actual, la capacitación es una de las claves para cubrir la necesidad que tienen las
1277 empresas de contar con un personal más calificado y productivo en el desarrollo de sus tareas, con el fin
1278 disponer de procesos más eficiente y productivos, elevando así la capacidad de los trabajadores
1279 mediante la mejora de sus habilidades, actitudes y conocimientos.

A continuación, se muestra un ejemplo de plan de capacitación modular que presenta las siguientes características:

1. Se elabora en función de habilidades generales y específicas de cada rol.
2. Permite analizar las habilidades iniciales y la progresión de los participantes.

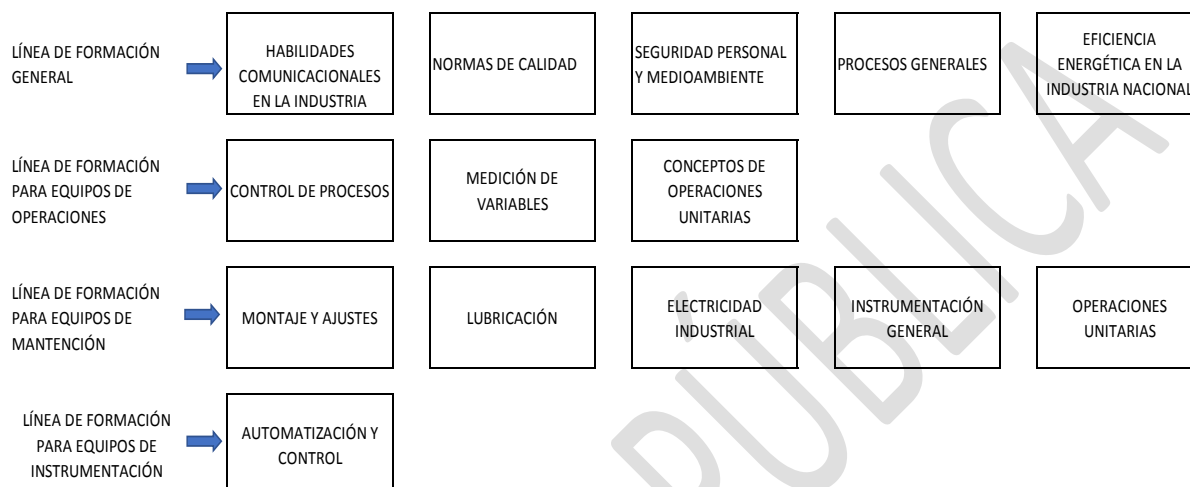


Figura 7.5: Programa de Capacitación Modular

Fuente: elaboración propia

Las evaluaciones iniciales de diagnóstico y las progresivas, acuerdo al avance en la malla propuesta en la figura 7.5, permiten establecer el avance en capacidades y habilidades del personal en el programa de capacitación modular. Las evaluaciones deben ser tanto en aspectos teóricos con un examen escrito y también en aspectos prácticos, con evaluaciones en las áreas de trabajo, para verificar que los participantes hayan adquirido las habilidades establecidas en el plan de capacitación modular.

Un plan de capacitación puede contener los siguientes ítems:

- Diagnóstico de Necesidades de Capacitación. Mediante entrevistas, con personas claves de la organización, se establecen los requerimientos de habilidades y conocimientos necesarios de la organización de acuerdo a los planes estratégicos vigentes.
- Diagnóstico o evaluación Inicial: Se establece un proceso de evaluación para determinar las brechas de habilidades y conocimientos entre los requeridos por la organización y los presentes en la personas de la organización.
- Determinación de malla curricular: Se determinan los contenidos de los cursos y entrenamientos necesarios para el cierre de brechas de conocimientos y habilidades.
- Programa de cursos y entrenamientos específicos: Se fijan en calendarios las fechas de cursos y entrenamientos.
- Plan de citaciones y asistencias: en función de las disponibilidades de los participantes y las necesidades de la operación se hacen las citaciones a los participantes.

- 1306
- 1307
- 1308
- 1309
- 1310
- 1311
- Plan de evaluaciones de participantes, relatores y contenidos.
 - Plan de mejoramiento del plan de capacitación: en función de los resultados de las evaluaciones del proceso.
 - Reevaluación de las brechas: Es necesario determinar las nuevas brechas de manera posterior a la implementación de plan de capacitación. Se espera que las brechas sean cerradas o se disminuyan de manera significativa.

1312

CONSULTA PÚBLICA

8 ESTRATEGIA DE OPERACIONES

A nivel de operaciones, la gestión de activos apela a la eficiencia de todos los procesos y elementos, incluyendo inventarios, energías, cumplimiento de normativa y recursos humanos, combinando las metas de inversión, mantenimiento, reparación y gestión de explotación. Del mismo modo, la gestión de activos incluye retos que consideran la mejora de la productividad, maximización del ciclo de vida, minimización del costo total y soporte a la cadena de suministro, por lo que la tarea de esta área es fundamental en la gestión de los activos que se encuentran a disposición de la empresa, para operarlos en forma eficiente.



Figura 8.1: Estrategia de Operaciones en el Sistema de Gestión de Activos

Para la gestión de activos la Estrategia de Operaciones no se trata sólo de operar, se trata de aplicar técnicas, tecnología, conocimiento, talento, experiencia para mantener y mejorar el aporte de valor de los activos. Esto cambia el paradigma al momento de operar, se deben cumplir las metas operacionales, pero de manera eficiente, cuidando todos los recursos y los desechos, la maximización del valor debe recorrer cada una de las decisiones en todos los ámbitos de la operación. La operación debe ser eficiente en el uso de los recursos y se debe definir metas e indicadores que contemplen estos nuevos desafíos. El porcentaje de utilización sigue siendo una base, pero ello puede ocultar ineficiencias que se debe descubrir y rectificar en el marco de la operación.

1333 Para alcanzar los objetivos operacionales de una planta industrial en términos de dar cumplimiento al
1334 programa de producción, cautelar la calidad del producto y gestionar los costos de operación, es
1335 necesario incorporar la visión de gestión de activos como una herramienta que permite apalancar el
1336 desempeño integral de las áreas responsables tanto de operar como de mantener los equipos y sistemas.
1337 El equipo humano a cargo de la operación de la planta industrial formado por personas que de manera
1338 coordinada operan los activos definidos en el proceso, debe tener las competencias para realizar
1339 maniobras de:

- 1340 • Puesta en marcha de las instalaciones, mediante el proceso de partida de equipos
1341 individuales en forma coordinada de acuerdo a lo que se define en los procesos.
- 1342 • Detenciones de los procesos y/o equipos individuales de forma de atender paradas de
1343 proceso o de equipos por inspecciones o mantenimiento.
- 1344 • Realizar modulación de la producción mediante el aumento o disminución del proceso
1345 operativo realizando los cambios de cargas respectivos.
- 1346 • Mantener permanentemente la continuidad del proceso productivo en forma eficiente y
1347 segura.
- 1348 • Mantener un permanente control en línea de la operación de los diferentes procesos bajo su
1349 responsabilidad realizando un permanente control de los parámetros de operación,
1350 registrando los eventos relevantes y mantención de estos dentro de los rangos de proceso.
- 1351 • Mantener el proceso bajo permanente monitoreo de las condiciones de seguridad de forma
1352 de no generar eventos no deseados, incidentes y/o accidentes que afecten a las personas, a
1353 la continuidad operacional y a los activos.

1355 Del mismo modo, es necesario que el equipo humano formado por operadores, jefes de área,
1356 supervisores y otros conozca a cabalidad lo siguiente:

- 1357 • Las capacidades de sus activos.
- 1358 • La función de cada activo en la cadena operativa.
- 1359 • Disponer, conocer y aplicar los procedimientos operacionales.
- 1360 • Mantener un estricto respeto y resguardo de las condiciones de seguridad y salud de todo el
1361 personal.
- 1362 • Mantener las áreas operacionales ordenadas, limpias y de libre acceso.
- 1363 • Mantener un estricto resguardo y respeto por el medio ambiente, cautelando que las
1364 actividades operacionales no impacten negativamente al entorno.
- 1365 • Conocer, entender y aplicar los procedimientos de seguridad asociado al área de trabajo y
1366 los procesos.
- 1367 • Que la eficiencia energética se logra cuando los equipos a su cargo están operando dentro
1368 del rango de los parámetros de diseño y/o dentro del rango de los parámetros
1369 recomendados por el fabricante. De esta manera se debe tener en consideración cuales son
1370 los rangos de operación de acuerdo al proceso, en los equipos que se definen como activos
1371 críticos. Por ejemplo, en procesos de bombeo es fundamental trabajar dentro de la curva de
1372 operación la bomba, controlando los flujos de entrada y salida, las presiones de trabajo,
1373 entre otros. En la figura 8.2 se pueden ver las curvas características de una bomba centrífuga.

- Dentro de las acciones de eficiencia energética, se encuentra la planificación de la producción, la cual permite que los activos funcionen en niveles que garanticen una mayor rentabilidad y minimizar los costos de mantenimiento por unidad producida. Para ello, es importante que la operación se planifique con parámetros que se encuentren dentro del intervalo definido por la empresa en sus indicadores de desempeño energético. (KPI)

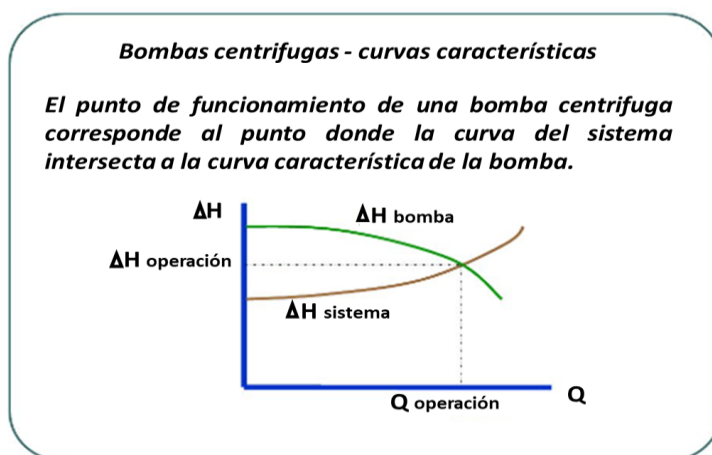


Figura 8.2: Curva característica de una bomba centrífuga

(fuente: elaboración propia)

El equipo de operaciones es responsable de buscar la utilización de los activos a capacidad de diseño, de esta forma asegura la eficiencia y desempeño de los equipos maximizando el resultado del negocio, entendido esto como su aporte en la gestión de activos. Es importante tener presente que en todo momento la operación se debe realizar bajo parámetros y estándares de seguridad y cuidado de las personas y equipos.

8.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL PROCESO

Como se ha indicado, principalmente es responsabilidad del área de operaciones, producción y planificación el mantener las condiciones nominales de funcionamiento de los sistemas ya que, en la medida que se ajuste el uso de los equipos y líneas a su régimen nominal, permitirá que los sistemas que forman la operación funcionen con el rendimiento óptimo.

El personal de operaciones debe conocer y controlar el punto de funcionamiento energético óptimo de equipos y sistemas mediante la elaboración de indicadores de desempeño energético, o capacidades nominales de la ficha técnica en su defecto. Es decir, conocer los rangos de operación para los cuales el consumo específico es óptimo. Si se opera fuera de los rangos de diseño, el consumo de energía quedará fuera de los parámetros de diseño, pudiendo elevar el costo de energía.

1400 Otro tema de relevancia para la eficiencia energética del proceso y que el personal de operaciones debe
1401 tener presente, es la reducción de pérdidas debido a productos defectuosos, ya que se traduce en
1402 pérdida de materia prima y ventas de productos que, además genera un desperdicio de energía,
1403 reduciendo la eficiencia energética de la operación. Por lo tanto, la gestión de los activos para obtener
1404 un producto en tiempo y calidad apoya la gestión de la eficiencia energética de la industria.

1405

CONSULTA PÚBLICA

9 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Para la gestión de activos el mantenimiento se define como todas las acciones que tienen por objetivo preservar el valor que aporta un activo al proceso o restaurarlo a un estado en el cual pueda continuar con el aporte de valor definido como la función operativa para la cual fue diseñado. Estas acciones incluyen la combinación de las actividades técnicas y administrativas que permiten preservar el equipo de modo cumpla con el aporte de valor al proceso productivo.



Figura 9.1: Estrategia de Mantenimiento en el Sistema de Gestión de Activos

Como aporte a la gestión de activos el equipo de mantenimiento debe asegurar la disponibilidad de los activos para ser utilizados por el área de operaciones y cumplir con los programas de producción, de tal forma, en el área de mantenimiento es imprescindible que todo el personal, jefes de área, mantenedores, planificadores u otros, conozcan los equipos y procesos a su cargo y sean capaces de diagnosticar el estado de cada uno de ellos de forma que estos estén en condiciones de operar sin fallas.

Hoy en día mejorar la competitividad es una obligación para las organizaciones, que las lleva a minimizar el costo total de los activos y operarlos de manera óptima. A medida que las averías o fallas de los activos se tornan más costosas, tanto a nivel de pérdida de producción, costo de reparación, impacto al medio ambiente, salud y seguridad de las personas, las empresas intentan mejorar los ciclos de vida de sus activos mediante eficientes programas de mantenimiento.

1426 Es importante considerar que la mantención y cualquier intervención deben realizarse bajo los
1427 procedimientos de seguridad estipulados para cada proceso o activo, donde debe considerarse el
1428 debido resguardo a la integridad, salud y seguridad de las personas y los activos a cargo.

1429 9.1 TÁCTICAS O ESTADOS DE MANTENIMIENTO

1430 Las tácticas o estados de mantenimiento corresponden a la condición en las que se aplica la estrategia
1431 de mantenimiento. La estrategia de mantenimiento es la decisión consiente y documentada que
1432 adoptan los responsables de la dirección de una empresa para administrar el mantenimiento y
1433 corresponde a la totalidad de las acciones que permiten identificar, recopilar, desarrollar e implementar
1434 una óptima planificación y ejecución del mantenimiento de los activos de la empresa. La estrategia de
1435 mantenimiento debe apuntar al logro de los objetivos del negocio y como recomendación debe estar
1436 escrita y difundida en la empresa. Es importante tener en cuenta que el estado en el que se encuentren
1437 los equipos tiene directa relación con el presupuesto asignado para su mantenimiento.

1438 Importante considerar dos aspectos en relación a la estrategia de mantenimiento:

- 1439 • El escenario óptimo considera que la estrategia de mantenimiento de activos pueda ser definida
1440 en las etapas primarias del proyecto, comenzando desde el diseño conceptual. Aspectos como la
1441 mantenibilidad de los activos físicos se determinan en esta etapa. Es importante que estos
1442 conceptos de mantenibilidad recorran y se profundicen en las siguientes etapas del proyecto de
1443 lo contrario en las etapas de puesta en marcha y operaciones las ineficiencias podrían impactar
1444 fuertemente en la rentabilidad. Cuando se integra la estrategia de mantenimiento en el diseño,
1445 por norma general se obtienen mejores resultados.
- 1446 • La estrategia de mantenimiento difiere de una instalación a otra, incluso dentro de instalaciones
1447 del mismo rubro, por ello es importante definir una estrategia de mantenimiento contemplando
1448 el contexto operacional del proceso.

1449 Así, existen al menos dos estados de mantenimiento que se pueden aplicar al área industrial asociada a
1450 la pequeña y mediana empresa, los que se describen continuación:

1451 9.1.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

1452 Este estado de mantenimiento es el más básico y representa el enfoque más antiguo del
1453 mantenimiento que es fundamentalmente reactivo, significa que los equipos "funcionan hasta
1454 que fallan". No se repara o reemplaza el activo hasta que este queda fuera de servicio por
1455 condición de falla o avería.

1456 9.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

1457 La meta de este enfoque es mantener el equipo en una buena condición operativa de forma de
1458 garantizar la confiabilidad de los activos que se encuentran en operación antes que pueda
1459 generarse una falla.

1460 El mantenimiento preventivo puede ser programado con frecuencia fija (FF), es decir la actividad
1461 de mantención y/o reemplazo de partes se programan de acuerdo a un intervalo de tiempo fijo

1462 para cada activo, aunque no lo necesite, o bien basado en una condición, es decir lo que
1463 determina la necesidad de mantención es la condición del activo, en lugar de los intervalos de
1464 tiempo. El monitoreo o supervisión de la condición ayuda a identificar cuando el riesgo de
1465 desgaste o deterioro comienza a incrementarse y establecer el momento óptimo para la
1466 intervención del activo.

1467 Normalmente en una instalación industrial existe una combinación de estos estados de forma que la
1468 mejor estrategia de mantenimiento combina varios o todos estos enfoques (u otro adicional si el activo
1469 lo amerita). La combinación que la organización escoja afectará y será afectada, entre otros, por los
1470 procesos de trabajo, pericia del equipo humano, tecnología y administración.

1471 La combinación correcta diferirá de planta a planta, así como para diferentes tipos de equipo.
1472 Generalmente, entre más crítico sea el proceso, más costoso es el equipo, mayor es el potencial de daño
1473 colateral, y más se inclinan las prácticas de mantenimientos hacia los enfoques predictivo y proactivo,
1474 por otra parte, si el equipo es de bajo costo, de fácil reemplazo y se cuenta con el repuesto, la estrategia
1475 para este equipo es el mantenimiento correctivo.

1476 Una adecuada definición de la estrategia de mantenimiento permitirá a la empresa alcanzar sus
1477 objetivos y apalancar el desempeño del área de operaciones. Como referencia la correcta definición e
1478 implementación de la estrategia de mantenimiento debe considerar alcanzar tres objetivos básicos en la
1479 ejecución de las actividades de mantenimiento, obtener una ejecución de actividades de mantenimiento
1480 programado entre un 60% y 70%, ejecución de actividades de mantenimiento correctivo entre un 20% y
1481 30% actividades de mantención para corregir fallas no más allá de un 10%.

1482 Junto con la definición de la estrategia, se deben definir los indicadores relevantes, KPI o indicadores de
1483 desempeño que se pretenden utilizar para medir y controlar el cumplimiento de la gestión de activos,
1484 según se indica en el Capítulo 9.5: Medición y Control.

1485 Adicionalmente, como parte del plan de eficiencia energética, se debe recomendar la implementación
1486 de una estrategia de mantenimiento adecuada a la gestión de los activos de la empresa, que considere
1487 al menos el mantenimiento preventivo y el mantenimiento proactivo.

1488 Dado que la estrategia de mantenimiento debe responder a un plan estratégico de negocios, es
1489 importante contar con los objetivos del plan de negocios, bajados al nivel de mantenimiento para definir
1490 la estrategia. Son estos objetivos estratégicos los que definen la estrategia de mantenimiento, esto es lo
1491 que determina la distribución entre mantenimiento preventivo, correctivo, etcétera, mediante el
1492 presupuesto asignado. De lo anterior se desprende que una organización ideal, con presupuesto infinito
1493 para hacer atender a sus activos, tendrá 100% de mantenimiento preventivo, por el contrario, una
1494 organización con presupuesto cero de mantenimiento, tendrá un mantenimiento 100% correctivo. Lo
1495 que ocurre en la realidad es que las organizaciones presentan una mezcla entre ambos tipos de
1496 mantenimiento.

1497 Entonces, una estrategia de mantenimiento eficaz para alcanzar los objetivos de la organización debe
1498 contar con:

- 1499 • Un plan Estratégico con objetivos claros y alineados con los de la organización.
- 1500 • Un presupuesto que sea suficiente para responder a los desafíos del plan.
- 1501 • Metas específicas: de mantenimiento en cuanto a disponibilidad, confiabilidad,
1502 cumplimientos, otros.
- 1503 • Talento de las personas: que se puede desarrollar al interior de la organización o adquirir en
1504 el mercado laboral.

1505 Una estrategia de mantenimiento debe contar con algunos de los siguientes aspectos:

- 1506 • Árbol de equipos o jerarquía de equipos.
- 1507 • Priorización de los activos en función de su criticidad.
- 1508 • Plan de detenciones programadas.
- 1509 • Procedimientos de intervención.
- 1510 • Procesos de administración del trabajo de mantenimiento.
- 1511 • Procedimientos de atención de contingencias.
- 1512 • Plan de mantenimiento por equipos, de acuerdo a su criticidad.

1513 Dentro de los principales beneficios que se obtendrían con un buen programa de mantenimiento de las
1514 instalaciones, se puede mencionar:

- 1515 • Mayor disponibilidad de los activos. Los activos cuentan con un nivel de atención de
1516 acuerdo al plan estratégico.
- 1517 • Mayor capacidad para el proceso. Los equipos pasan más tiempo en operación que en
1518 actividades de mantenimiento, lo que implica mayor capacidad de producción.
- 1519 • Mayor confiabilidad de los activos. Los activos se mantienen en estándares de operación
1520 aceptables para el proceso productivo, sin detenciones imprevistas.
- 1521 • Mejor servicio a la operación. Se eleva la utilización de los activos, con ello la operación
1522 mejora su percepción de la calidad de mantenimiento.
- 1523 • Menor estrés del personal de operaciones, mantenimiento, logística, dado que los activos
1524 cumplen con su función operativa el grado de tensión al interior de la organización
1525 disminuye.
- 1526 • Control de costos de operación y administración, contar con un plan de mantenimiento
1527 implica contar con un plan de costos, entonces se puede controlar las desviaciones, ajustes
1528 y resultados en costos por equipos.
- 1529 • Cumplimiento de la vida útil programada de los activos. El realizar las intervenciones de
1530 acuerdo a un plan garantiza que los activos lleguen a la vida útil prevista, si no lo hacen se
1531 tiene las herramientas para encontrar las causas del deterioro prematuro del activo.
- 1532 • Control de los requerimientos de inversión. Los activos cumplen con sus funciones hasta el
1533 final de vida útil estimada, por lo tanto no hay inversiones descontroladas para reposición
1534 de activos dañados.

- Ahorro de energía. Los activos mantenidos correctamente consumen menos energía al conservar los atributos diseñados por los fabricantes, como la lubricación para disminuir los roces mecánicos, limpieza para la captura o disipación de calor, eliminando partidas y paradas no programadas que aumentan los consumos para vencer las inercias de los mecanismos, entre otros.

9.2 ÁRBOL DE EQUIPOS

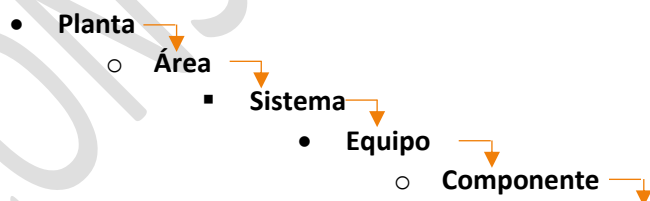
Uno de los requerimientos para elaborar una estrategia de mantenimiento es el árbol de equipos, que debe abarcar la totalidad de los activos físicos del proceso productivo. Este árbol se construye desde el diseño conceptual del proceso y se va modificando de acuerdo a los requerimientos operacionales. El árbol de equipos entrega una visión sinóptica de la planta en su totalidad. Este árbol se construye en jerarquías desde la planta general en el nivel superior, hasta el componente mantenible en niveles decrecientes.

Para realizar la estructura del árbol de equipos, es relevante contar con la información de todos los activos y sus componentes que son parte de la infraestructura industrial, esta información debe estar disponible en los documentos del proyecto o bien hay que necesariamente realizar el levantamiento en terreno, de no haber información de ellos.

El árbol de equipos o jerarquía de equipos es una división primordial y de la mayor importancia debido a que permite definir cómo se tratará a los activos, respecto a la posterior interpretación de los resultados; y luego cómo se asociarán los Registros de Operación y Mantenimiento, de modo de contar con metodologías sencillas de Análisis y eventualmente la aplicación de software de gestión de mantenimiento.

Los Registros de Mantenimiento deben relacionarse con cada nivel dentro del árbol de Equipos a fin de que puedan compararse.

El árbol de equipos se compone normalmente de los siguientes niveles jerárquicos:



La definición de cada elemento jerárquico del árbol de equipos es:

- **Planta:** En este nivel que corresponde al valor jerárquico de mayor nivel, se define el centro de trabajo relevante de la planta, como por ejemplo:
 - Planta de Procesamiento de Semillas “La Semillita”.
 - Planta “La Semillita” de Linares.

- 1573 • **Área:** En este nivel se define una zona de la planta que desde el inicio al fin del proceso tienen
1574 alguna característica en común, ya sea una línea específica del producto, equipos similares,
1575 asociación con un centro de costos, otros, como por ejemplo:
- 1576 ○ Línea 1 deshidratado.
1577 ○ Área refrigeración.
1578 ○ Generadores de Vapor.
- 1579 • **Sistema:** En este nivel se define al conjunto de equipos que tienen una función común dentro de
1580 un proceso, como, por ejemplo:
- 1581 ○ Sistema bombeo.
1582 ○ Sistema de protecciones eléctricas.
- 1583 • **Equipo:** En este nivel se definen cada una de las unidades de producción que componen el
1584 sistema, que por su naturaleza constituye un conjunto único, como, por ejemplo:
- 1585 ○ Bomba que envía aceite de lubricación a varios compresores.
1586 ○ Compresor.
- 1587 • **Componente:** En este nivel se definen a todas las partes que pueden reemplazarse en un equipo,
1588 como, por ejemplo:
- 1589 ○ Rodamiento de un motor.
1590 ○ Impulsor de una bomba.
- 1591 Importante destacar que este nivel (componente) corresponde a las partes de los activos que
1592 normalmente se cambian, se reparan o se les realiza chequeo y/o mantención en una reparación
1593 o durante los procesos normales de mantenimiento.
- 1594 Como referencia, se indica una descomposición simple en un árbol de equipos en un proceso de una
1595 planta de tratamiento.



Figura 9.2: Ejemplo de árbol de equipos

9.2.1 PRIORIZACIÓN DE EQUIPOS (ANÁLISIS DE CRITICIDAD)

Junto con la jerarquía de equipos es importante realizar un análisis de criticidad de los equipos asociados a los sistemas, para determinar su importancia en la generación de valor en el proceso. La determinación de equipos críticos y menos críticos facilita la gestión y asignación de los recursos de las áreas operativas y de mantenimiento en la realización de tareas preventivas, proactivas y correctivas. Los equipos críticos deben contar con un mayor nivel de atención que aquellos que son menos críticos.

La priorización de los activos debe estar enfocada en el valor que agrega el componente, equipo o sistema, al proceso en su totalidad. No debe estar condicionado sólo por el valor monetario o nominal del activo. Por ejemplo, en el caso de una caldera tanto el sensor de llama como el medidor de conductividad de agua de caldera, tienen un costo menor en comparación con el costo de la caldera sin embargo, una falla en alguno de estos componente representará una pérdida de producción mayor o falla crítica.

En general la priorización de los activos se da en 4 niveles:

Criticidad Alta: Activos cuya detención impacta en la totalidad del proceso productivo.

Criticidad Media: Activos cuya detención impacta sólo en una porción del proceso productivo.

Criticidad Baja: Activos cuya detención impacta en una pequeña porción del proceso.

Criticidad Nula: Activos cuya detención no afecta el proceso productivo.

9.3 CATÁLOGO DE FALLAS

Un catálogo de fallas es una herramienta de gestión que permite, en forma ordenada, presentar en un mismo documento los elementos que causan deterioros en los equipos, así como las acciones de mitigación que permitirán su continuidad operacional.

Adicionalmente un catálogo de falla debe permitir la construcción de una base de información que permita estadísticamente analizar el comportamiento de los equipos, sus modos de fallas, causas de falla, estrategias de reparación, lo cual servirá para nutrir los análisis de confiabilidad que la empresa resuelva en implementar a lo largo de la vida de operación de sus activos.

En este sentido un catálogo de falla debe como mínimo contener dentro de su estructura los siguientes elementos:

- **Componente Mantenible:** Este elemento corresponde a los diferentes componentes que conforman el equipo que potencialmente sufrirá la avería.
- **Modo de Falla:** Este elemento corresponde a la falla observada por el personal.
- **Causas de Falla:** Este elemento corresponde al evento “inicial” que originó la avería del equipo.
- **Medidas o Actividad Recomendada:** Este elemento corresponde a las actividades de mantenimiento recomendadas para recuperar la función del equipo
- **Actividad Ejecutada:** Este elemento corresponde a las actividades de mantenimiento ejecutada finalmente para recuperar la función del equipo

1636

Subsistema	Función del activo del subsistema	Falla funcional	Modo de falla	Parte del equipo afectada	Causa de la falla	Efecto de la falla y consecuencia	Estrategia de mantenimiento	Actividad de mantenimiento
Red de agua de Sello	Suministro de agua de sello P y Q	No hay flujo Q	Falla de motor	Alimentación eléctrica	Terminal suelto	Detención del proceso - Pérdida estimada en USD	Predictiva	Análisis de termografía
				Rodamientos	Alineamiento		Predictiva	Análisis de vibraciones
			Falla válvula de descarga	Actuador	Línea de aire rota		Preventiva	Plan de inspección
			Falla sistema de control de nivel	Sensor de nivel	Calibración		Preventiva	Plan de calibración
			Falla de la bomba	Rodamientos	Lubricación		Preventiva	Plan de lubricación
					Montaje		Predictiva	Análisis de vibraciones
				Sello mecánico	Montaje		Preventiva	Protocolo de montaje
			Falla estanque	Rotura del manto	Corrosión		Predictiva	Plan de END
					Corrosión		Preventiva	Plan de pintura
		Baja presión P	Desgaste de la bomba	Rodete	Corrosión	Daño en equipos críticos por falta de agua de sello - Pérdida estimada en USD	Preventiva	Cambio de componente FF
			Falla válvula de Seguridad	Actuador	Calibración		Preventiva	Plan de calibración
		Bajo flujo Q	Desgaste de la Bomba	Rodete	Material no adecuado		Preventiva	Cambio de componente FF
			Fuga en el sistema piping	Línea de descarga	Corrosión		Predictiva	Plan de END
					Empaquetadura rota		Preventiva	Cambio por condición
		Consumo Anormal de Energía	Operación de protección eléctrica	Rodete de la bomba	Obstrucción por cuerpo extraño	Detención del Proceso	Correctiva	Intervenir y retirar cuerpo extraño del rodete
			Alarma por sobreconsumo de energía	Rodamientos	Roces en elementos rodantes		Correctiva	Cambio de Rodamientos
				Desgaste en Elementos	Cumplimiento de vida útil	Pérdida de eficiencia	Correctiva	Cambio de componente FF

1637

1638

Tabla 9.1: Catálogo de fallas

1639

Glosario:

1640

P : Presión

1641

Q : Caudal

1642

USD : Dólares americanos

1643

END : técnicas de ensayos no destructivos

1644

FF : Intervención a frecuencia fija

9.4 PLAN DE MANTENIMIENTO

Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas siguiendo algún tipo de criterio, el plan incluye una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos, esto dado que normalmente hay un conjunto de equipos que se consideran no mantenibles desde un punto de vista preventivo, y en los cuales es mucho más económico aplicar una política puramente correctiva

El plan de mantenimiento engloba tres tipos de tareas o actividades:

- Las actividades rutinarias que se realizan a diario, y que normalmente las lleva a cabo el equipo de operación.
- Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año.
- Las actividades que se realizan durante las paradas programadas.

Las tareas o actividades de mantenimiento son la base de un plan de mantenimiento, al determinar cada tarea debe determinarse además cinco características referentes a esta: frecuencia, especialidad, duración, necesidad de permiso de trabajo especial y necesidad de parar la máquina para efectuarla.

La elaboración de un plan de mantenimiento puede hacerse con la combinación de tres aspectos:

- Recopilando las instrucciones de los fabricantes de los diferentes equipos que componen la planta, y agrupándolas en gamas de mantenimiento.
- Realizando un plan de tareas basadas en los protocolos de servicio, para equipos de similares características que se puedan agrupar por familias, y a cada familia le corresponde la realización de una serie de tareas con independencia de quien sea el fabricante.
- Realizando un análisis de las fallas que han afectado al proceso productivo, con el objetivo de determinar las causas y tomar las medidas de control y acciones preventivas que mitiguen o eliminen las consecuencias de las fallas imprevistas. Este último es sin duda el modo más completo y eficaz de realizar y mejorar un plan de mantenimiento.

9.5 MEDICIÓN Y CONTROL

La organización debe considerar el seguimiento, medición, análisis, evaluación y control necesarios para impulsar y apoyar la toma de decisiones sobre las acciones de mejora en cada área del negocio. Históricamente, esta visión se enfoca al área de operaciones y mantenimiento como una forma de mejorar los procesos de la producción, del mantenimiento y planificación de las actividades asociadas al cuidado de los activos. Puesto que este capítulo se enfoca principalmente en el monitoreo en terreno de equipos y sistemas productivos, las descripciones no consideran áreas tales como, finanzas o ventas, entre otros.

Hay una máxima que dice que “Para poder controlar, es necesario medir” o en forma negada dice que “no se puede controlar lo que no se puede medir”, esto es una verdad relevante en relación al cumplimiento de la Gestión de Activos ya que para determinar cuan cerca o lejos está la organización de

los objetivos del negocio, necesariamente debe haber un conjunto de KPI, que permitan evidenciar, en valores concretos estandarizados, los resultados de la gestión del negocio y poder compararlo con los resultados deseados y, a su vez, con los de otras empresas del mismo rubro, esto último es lo que se conoce como “benchmarking”. Establecer el “benchmark” permite fijar un patrón de comparación.



Figura 9.3: Medición de una Variable Respecto de un Patrón o “Benchmark”

Para disponer de estos KPI, que corresponden a un conjunto de valores representativos que permiten conocer la salud del negocio, se requiere medir diferentes variables, ya sea cuantitativas como variables de proceso, económicas, y cualitativas como percepción de los clientes.

El consumo de energía puede constituirse como un KPI en si mismo. Un aumento injustificado del consumo de energía pone de manifiesto que algo no anda bien en el proceso productivo y puede exponer ineficiencias en alguno o varios de los procesos de transformación involucrados.

A nivel cuantitativo, por ejemplo, en la operación y producción, para determinar la cantidad de frutos secos producidos es necesario pesar la producción final, para determinar la cantidad de jugo producido hay que medir la cantidad de litros producidos, en ambos casos hay que medir la calidad del producto.

En mantenimiento también hay una serie de mediciones cuantitativas establecidas para determinar el estado de equipos y sistemas, mantenimiento preventivo y por otra parte la eficacia de la gestión de mantención, utilizar KPI estandarizados permite además realizar una comparación de desempeño con el estándar de la industria.

El mantenimiento preventivo considera actividades de medición y control de base para determinar la condición de funcionamiento de un equipo o componente, las más recomendadas corresponden a medición de vibraciones y medición de temperatura, a continuación, se describen ambas actividades.

1705 9.5.1 MEDICIÓN DE VIBRACIONES.

1706 En general, la medición de vibraciones permite determinar el estado de componentes críticos de
1707 equipos rotatorios, la amplitud de la vibración se puede utilizar para determinar la severidad de la
1708 condición de una máquina. En la mayoría de los casos, se ha encontrado que la velocidad de la vibración
1709 es suficiente para caracterizar la severidad de la vibración sobre un amplio rango de velocidades de giro
1710 de las máquinas. Existen otras mediciones, como lo son las de aceleración de vibración o
1711 desplazamiento de la vibración. Para esos casos se recomienda asesorarse por un técnico certificado en
1712 análisis de vibraciones. Existen universidades e instituciones, de relevancia nacional, que certifican
1713 profesionales en el uso de las normas vigentes en este campo, de acuerdo a estándares internacionales.

1714 **Clasificación de máquina según norma ISO 10816**

1715 Para determinar la condición de la maquina la norma ISO 10816 recomienda establecer la clasificación
1716 de la maquina según se indica a continuación.

- 1717 • Clase I: piezas individuales de motores y máquinas, integralmente conectado a la máquina en su
- 1718 estado de funcionamiento normal. (Motores eléctricos de producción de hasta 15 kW).
- 1719 • Clase II: Máquinas de tamaño medio (máquinas con 15 kW a 75 kW de potencia), como
- 1720 maquinas montadas en superficies rígidas (hasta 300 kW).
- 1721 • Clase III: Máquinas de gran tamaño con masas giratorias montadas sobre superficie rígida y
- 1722 cimientos pesados que son relativamente rígido en la dirección de medición de vibración.
- 1723 • Clase IV: Grandes Máquinas de gran tamaño con la rotación de masas montadas sobre bases
- 1724 que son relativamente suaves o inestables en la dirección de la vibración (por ejemplo, los
- 1725 conjuntos turbogeneradores y turbinas de gas con salidas superiores a 10 MW)
- 1726

1727 Las zonas de operación para la máquina se muestran en la tabla 9.2 en función de la medida de
1728 velocidad de vibración (mm/s).

1729 La evaluación de la condición de la máquina se realiza en función de los criterios indicados a
1730 continuación:

- 1731 • ZONA A: Valor que indica condición de la máquina Buena. La vibración de las máquinas nuevas o
- 1732 recientemente reacondicionadas deberían estar dentro de esta zona.
- 1733 • ZONA B: Máquinas con valores dentro de esta zona son normalmente considerados aceptables
- 1734 para una operación a largo plazo sin restricciones para la operación.
- 1735 • ZONA C: Máquinas con valores dentro de esta zona son normalmente considerados como
- 1736 insatisfactorias para una operación continua a largo plazo. Generalmente la máquina puede ser
- 1737 operada por un periodo limitado de tiempo en esta condición hasta que llegue una oportunidad
- 1738 apropiada para su reparación.
- 1739 • ZONA D: Los valores de vibración dentro de esta zona son considerados normalmente de
- 1740 suficiente severidad como para causar daño a la máquina.
- 1741

Velocidad de Vibración RMS (mm/s)	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Tabla 9.2: Zona de operación en función de la Clase de Máquina y velocidad de vibración

Como ejemplo: al realizar la medición de vibraciones de un motor eléctrico de 40 kW de potencia, equipo clase II, el valor de velocidad de vibración es de 2.0 mm/s, el equipo se encuentra trabajando en la Zona B, aceptable, puede continuar operando sin restricciones. Por el contrario, si el valor de vibración es de 7,5 mm/s el equipo está trabajando en la Zona D, el equipo se debe intervenir para volver a los niveles de vibraciones satisfactorios de vibración.

Es importante aclarar que los valores mostrados más arriba dan cuenta de la severidad de la vibración, es decir si está en valores aceptables para la operación o no. Para determinar la causa de la vibración y las energías asociadas se requiere de una técnica de análisis de vibraciones. Para ello se requiere de técnicos capacitados, entrenados y certificados en estas técnicas.

9.5.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

En general, es importante monitorear la temperatura de operación de equipos y componentes ya sean rotatorios, tales como rodamientos o estáticos como por ejemplo, el partidador de un motor eléctrico. Temperaturas de operación superiores a las de diseño afectan negativamente el desempeño de un equipo o componente disminuyendo su vida útil y son síntomas de operación anormal. Existen diferentes tecnologías para la medición de temperatura y, como se ha mencionado, la más utilizada actualmente es la medición termográfica.

La medición de temperatura permite detectar dos condiciones de operación:

- Temperatura de operación más allá del diseño, de un equipo o componente.
- Identificación de “puntos calientes” es decir componentes que trabajando en la misma condición de operación se encuentran a mayor temperatura que sus pares, esta situación se

puede dar por ejemplo al medir una conexión eléctrica de alimentación. Aunque no necesariamente es una falla funcional, es importante determinar la causa de este desbalance y descartar causas probables de fallas futuras.

En el primer caso, temperatura de operación, es importante conocer las temperaturas de trabajo según diseño de equipos y componentes puesto que ellas se utilizarán como base de comparación para establecer la condición de trabajo del equipo. A modo de ejemplo, para la inspección de un rodamiento es importante tener en cuenta la temperatura de trabajo ya que, si ésta cambia, también pueden variar las condiciones mecánicas. Si la temperatura es superior a 80°C se pueden dañar los sellos u obturadores, así como afectar la lubricación, causando un desgaste prematuro del rodamiento. Además, cuando se trabaja a una temperatura de servicio muy elevada, superior a 120°C, la dureza del material del rodamiento varía, los coeficientes de carga dinámica y estática cambian, por lo que la carga que podrá soportar será inferior.

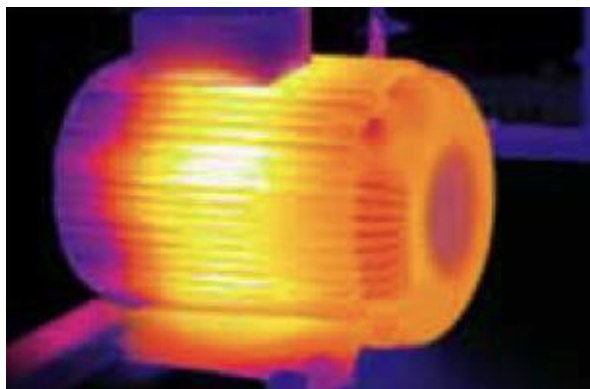


Figura 9.4: Medición de temperatura de un conjunto de rodamientos

En la figura 9.4 se observa una imagen termográfica de un sistema de poleas con descansos soportados por rodamientos. Las zonas más oscuras demuestran zonas más frías, las zonas más claras demuestran zonas más calientes. En este caso en particular se observa una zona caliente en el sector del rodamiento. Es importante analizar la causa de este punto caliente dentro del contexto operacional del equipo.

Otro ejemplo de medición de temperatura, pero en un equipo, es el caso de una inspección de motores eléctricos. Las imágenes térmicas de los motores eléctricos muestran sus condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de superficie. Lo ideal es realizar comprobaciones de los motores cuando están trabajando bajo condiciones normales de funcionamiento.

1789 A diferencia de los termómetros por infrarrojos, que solo pueden capturar temperaturas en un único
 1790 punto, una cámara termográfica puede capturar al mismo tiempo temperaturas de miles de puntos de
 1791 todos los componentes principales: el motor, el acoplamiento del eje, los rodamientos del motor y del
 1792 eje y cuadro de control/conexiones. Siempre es necesario consultar al fabricante por las condiciones de
 1793 operación y temperatura para realizar un análisis acabado de la condición del equipo.



1794
 1795 *Figura 9.5: Medición de temperatura de un motor eléctrico*

1796 En la figura 9.5 se observa la carcasa de un motor eléctrico en la que hay zonas más calientes que las
 1797 otras, las causas de este calentamiento deben ser estudiadas de acuerdo al contexto operacional en la
 1798 que se encuentra el motor.

1799 En el segundo caso, identificación de puntos calientes, este efecto se presenta cuando una conexión
 1800 está suelta o tiene algún tipo de corrosión, en la práctica su resistencia aumenta y dado que al aumentar
 1801 la resistencia también aumenta la caída de tensión, se genera un aumento de la temperatura, podemos
 1802 detectar esta condición antes de que se produzca una falla utilizando una cámara termográfica.

1803 Como recomendación general y de acuerdo con las especificaciones de la NETA (International Electrical
 1804 Testing Association), si la diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares
 1805 supera los 15 °C deben llevarse a cabo reparaciones de forma inmediata. Asimismo, esta asociación
 1806 recomienda que se lleve a cabo la misma acción cuando la diferencia de temperatura de un componente
 1807 y del aire supere los 40 °C.

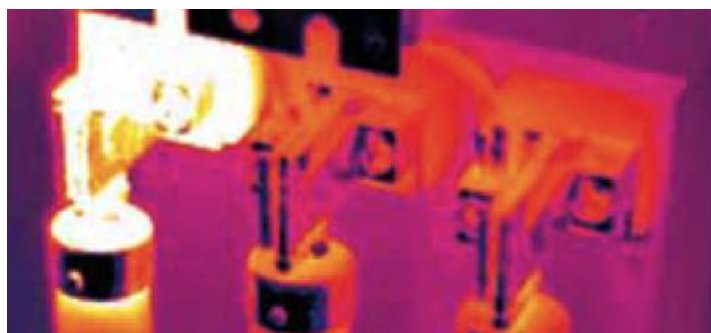


Figura 9.6: Identificación de punto caliente mediante cámara termográfica

La Figura 9.6 muestra un punto caliente en un sistema eléctrico, las causas de este calentamiento se deben encontrar tomando en consideración el contexto operacional del sistema.

9.5.3 MEDICIÓN DE TIEMPOS OPERACIONALES

Los tiempos operacionales representan la distribución del tiempo en cada fase del proceso productivo. Lo ideal es que el tiempo total del año el proceso productivo opere sin detenciones, es decir: los 365 días, si es que la unidad relevante de medición fuera día, o las 8.760 horas, si es que la unidad relevante fuera la hora. Pero la realidad es otra. Los procesos operacionales no están las 8.760 horas entregando productos, bienes o servicios. Existen tiempos en que la producción se detiene. Por ello es importante que la organización clasifique estos tiempos, de acuerdo a su propio contexto operacional y los registre en sus sistemas para gestionarlos y mejorar su competitividad en los mercados.

En la actualidad todos los sistemas cuentan con control de tiempo, por lo general, lo hacen en horas a través de horómetros. Existen procesos en que las unidades de control de tiempo corresponden a minutos e incluso en segundos. Como por ejemplo, algunas empresas de servicios de digitación de datos computacionales miden los rendimientos en segundos y las detenciones en minutos.

Tanto para operaciones, como para mantenimiento muchos de sus KPI se miden en horas o en razones tomando como referencias los tiempos involucrados. Por ello, resulta fundamental que exista una convención entre las áreas para medir esos tiempos operacionales. Para entender a cabalidad la relación de horas de operación versus las horas de mantenimiento y los índices asociados de utilización y disponibilidad respectivamente se presenta una gráfica con la distribución de los tiempos operacionales.

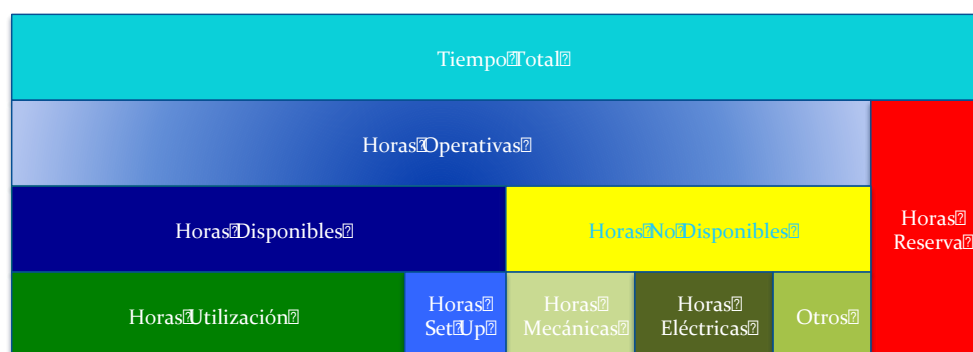


Figura 9.7: Distribución de tiempos operacionales

Tiempo Total: Es el tiempo cronológico total del periodo, por ejemplo: horas en un año es 8.760 horas.

Horas Operativas: Es el tiempo que el activo tiene para todas las actividades operacionales.

Horas de Reserva: Son tiempos que el activo no opera, ya sea por razones de la industria, legislación u otros. En algunas industrias este tiempo puede ser cero. Como, por ejemplo: Minería, Generación Eléctrica, Celulosa. En otras industrias estos tiempos pueden ser significativos, como por ejemplo: Packing de frutas de temporada.

Horas Disponibles: Es el tiempo que el activo está efectivamente disponible para operar.

Horas no Disponibles: Es el tiempo que el activo no puede operar, por ejemplo:

- Horas de mantenimiento mecánico.
- Horas de mantenimiento eléctrico.
- Otros: fuera de servicio por incidente operacional.

Horas de Utilización: Es el tiempo en el que el activo opera efectivamente en el proceso productivo.

Horas de ajuste o partidas y paradas: Es el tiempo que los activos necesitan para volver a operar a régimen, luego de alguna detención o intervención. Existen procesos, como los de impresión en la industria gráfica, en los que a algunos sistemas les toma varios minutos volver a trabajar en régimen estacionario, luego de una detención.

La eficacia de la gestión de mantención se puede establecer en base a tres parámetros que son reconocidos y comparables a nivel industrial, como son el tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio para reparar (MTTR) y la disponibilidad que es un parámetro que correlaciona ambos conceptos.

1851 Las expresiones matemáticas para el cálculo de estos índices se indican a continuación.

- 1852 • MTBF: Mean Time Between Fail por sus siglas en inglés o Tiempo Medio Entre Fallas, indica el
1853 promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente

1854

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}}$$

- 1855 • MTTR: Medium Time To Repair por sus siglas en inglés o Tiempo Medio Para Reparar, indica el
1856 tiempo promedio empleado para reparar un activo después de una falla.

1857

1858

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de inactividad}}{\text{Número de fallas}}$$

- 1859 • Disponibilidad: corresponde al tiempo medio que el equipo está en condición y listo para ser
1860 utilizado por operaciones.

1861

1862

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

1864

1865 Como regla general es el área de planificación, ya sea de producción o mantención, la responsable de
1866 llevar el seguimiento y control de los KPI establecidos para control de gestión.

1867

1868 9.6 PRESUPUESTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

1869 Con todos los conceptos anteriores y habiendo definido el plan de mantenimiento se puede
1870 presupuestar el costo del plan de mantenimiento. A continuación mostramos un presupuesto tipo a
1871 partir del plan de mantenimiento de un sistema de bombeo establecido en el capítulo 10.2. El plan de
1872 mantenimiento detallado se muestra en la tabla 10.2.2 del mismo capítulo.

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL						Costos del Plan		
Actividad	Equipo	Tareas	Frecuencia	Duración hr	Costos CLP (1000)	Cantidad Actividades del Año	Presupuesto Anual CLP (1000)	
Plan de Lubricación	Bomba	Cambio de lubricante	Trimestral	4	10	4	\$ 40	
		Muestreo	Mensual	1	12	12	\$ 144	
		Análisis	Mensual	48	14	12	\$ 168	
		Ruta de inspección	Semanal	0,5	10	48	\$ 480	
	Motor	Engrase de rodamientos	Mensual	2	10	12	\$ 120	
		Ruta de inspección	Semanal	0,5	10	48	\$ 480	
		Termografía	Mensual	0,5	10	12	\$ 120	
Plan END	Estanque	Medición de espesores	Anual	60	10	1	\$ 10	
		Medición de corrosión	Trimestral	45	10	4	\$ 40	
	Piping	Medición de espesores	Anual	60	10	1	\$ 10	
Mantención Mecánica	Motor	Inspección y limpieza	Mensual	3	15	12	\$ 180	
		Medición de vibraciones	Mensual	1	27	12	\$ 324	
	Bomba	Medición de vibraciones	Mensual	1	27	12	\$ 324	
		Mantención bomba	Trimestral	4	50	4	\$ 200	
		Cambio rodete	Seimestral	8	150	4	\$ 600	
Mantención Eléctrica	Transformadores	Inspección / limpieza	Trimestral	2	15	4	\$ 60	
		Mantención instrumentos	Trimestral	3	14	4	\$ 56	
		Reapriete terminales	Trimestral	2	20	4	\$ 80	
		Análisis aceites	Anual	1	27	1	\$ 27	
		Termografías	anual	1	10	1	\$ 10	
	Motor	Ruta inspección	Semanal	1	10	48	\$ 480	
		Limpieza	Mensual	2	15	12	\$ 180	
		Mantención canalización eléctrica	Trimestral	3	20	4	\$ 80	
		Reapriete terminales	Trimestral	1	20	4	\$ 80	
		Mantención sensores	Trimestral	2	20	2	\$ 40	
	Sala eléctrica	Inspección / limpieza	Seimestral	6	10	2	\$ 20	
		Revisión de protecciones	Seimestral	4	27	2	\$ 54	
		Reapriete terminales control y fuerza	Seimestral	4	20	2	\$ 40	
		Termografías	Trimestral	6	10	4	\$ 40	
	Tableros terreno	Reapriete terminales	Trimestral	4	20	4	\$ 80	
		Inspección sello/limpieza	Semanal	4	27	48	\$ 1.296	
	Luminarias	Cambio según inspección	Mensual	2	60	12	\$ 720	
	Mantención Estanque y Piping	Estanque	Plan de pintura	Anual	180	500	1	\$ 500
			Plan END	Anual	60	800	1	\$ 800
		Estructura soportes	Plan de pintura	Semanal	45	50	48	\$ 2.400
			Plan END	Anual	60	500	1	\$ 500
Piping		Cambio empaquetadura	Inspección	6	50	2	\$ 100	
Mantención Instrumentación	Sensores presión - flujo	Plan de calibración	Seimestral	4	400	2	\$ 800	
		Mantención sensores	Trimestral	3	300	4	\$ 1.200	
		Mantención transmisores	Trimestral	3	300	2	\$ 600	
		Mantención soportación	Seimestral	2	200	2	\$ 400	
		Ruta de inspección	semanal	1	27	48	\$ 1.296	
	Válvulas	Calibración	Trimestral	2	27	4	\$ 108	
		Ruta de inspección	semanal	1	27	48	\$ 1.296	
		Mantención componentes	Trimestral	2	80	4	\$ 320	
	Mantención líneas de aire v soportaciones	Trimestral	2	150	4	\$ 600		

Costo Total del Plan de Mantenimiento \$ 17.503

Tabla 9.3: Presupuesto del Plan de Mantenimiento

- 1875 Para cada una de las actividades del plan de mantenimiento preventivo de los sistemas de bombeo se
1876 han asociado costos estimados y la cantidad de ejecuciones dentro de un año. Esto da como resultado
1877 un presupuesto anual para el plan de mantenimiento sólo para el sistema de bombeo de \$17.503.000.-
1878 Es importante destacar que este presupuesto es sólo para el plan preventivo. Cada organización debe
1879 determinar en función de su propio contexto operacional su presupuesto para mantenimiento
1880 correctivo.
- 1881 Los costos mostrados son estimados y pueden variar en función de la industria, la zona geográfica, la
1882 criticidad del sistema y la experiencia propia del personal de mantenimiento.

CONSULTA PÚBLICA

10 SISTEMAS CLAVES DEL SECTOR PYME

La aplicación de los sistemas de gestión de activos y un plan estratégico para ello, constituye un gran desafío para cualquier organización. Una manera de obtener beneficios en el más corto plazo es aplicar estos conceptos sobre los activos fijos, es por ello que a continuación se presentan aplicaciones prácticas sobre sistemas de uso común en las PYME.

SISTEMAS	SECTOR ECONOMICO PRIMARIO			SECTOR ECONOMICO SECUNDARIO			
	Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	Pesca	Explotación minas y canteras	Ind. Manufactureras no metalicas	Ind. Manufactureras metalicas	Suministro electricidad, gas y agua	Construcción
	Considera	Considera	Considera	Considera	Considera	Considera	Considera
motores eléctricos	X	X	X	X	X	X	X
sistemas aire comprimido	X	X	X	X	X	X	X
sistemas de bombeo	X	X	X	X	X	X	X
sistemas de ventilación	X	X	X	X	X	X	
iluminación	X	X	X	X	X	X	X
generación de agua caliente	X			X			
generación de vapor				X			
climatización frío/calor		X		X	X	X	
refrigeración	X	X		X			

Tabla 10.1: Sistemas de uso común en las PYME

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10.1 se muestran los sistemas más comunes en el sector PYME, separados por sector económico y tipo de industria. Los sistemas abordados en esta guía representan una parte importante de los activos presentes en las PYME.

10.1 MOTOR ELÉCTRICO

Un motor eléctrico es un equipo cuya principal función es entregar energía mecánica (o movimiento) a algún sistema u otro equipo, mediante la transformación de la energía eléctrica que recibe directamente desde una red eléctrica.

Típicamente, los motores se definen según su nivel de potencia en baja tensión y en media tensión; según el tipo de energía eléctrica del que se alimenta, como de corriente continua y corriente alterna, para entender esto se entregan las siguientes definiciones, las que se resumen en la figura 6.1:

- La potencia eléctrica se define como la velocidad en la que se consume la energía, su unidad de medida es Joule por segundo (J/s) o Watt (W), unidad con la que comúnmente se asocia a la potencia.
- La definición de baja o media tensión se asocia al tamaño del motor dado por el consumo de potencia. Para efectos de esta guía se considerarán solo motores de baja tensión.
- La electricidad es el tipo de energía que es transmitida mediante el movimiento de electrones por un material conductor que permite el flujo de electrones por él. Por otro lado, el flujo de electrones puede ocurrir en un solo sentido o en ambos sentidos. Cuando la corriente eléctrica fluye en un solo sentido hablamos de corriente continua y cuando la corriente eléctrica fluye en dos sentidos hablamos de corriente alterna.

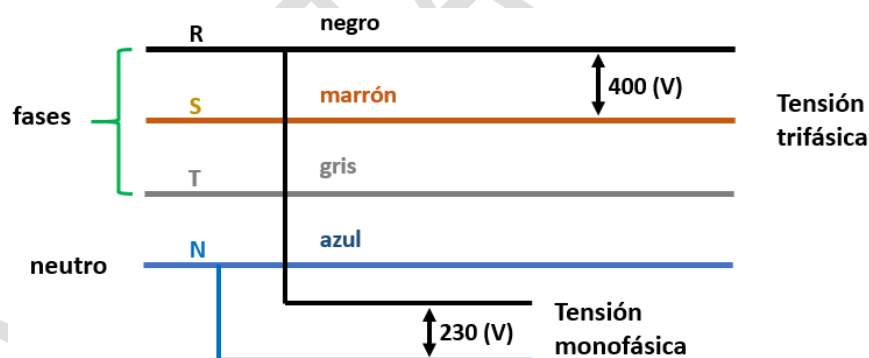


Figura 10.1.1: Cableado trifásico y monofásico alterno

(fuente: elaboración propia)

Los equipos trifásicos, como los motores que se analizan en esta guía, son equipos alimentados por tres tensiones o fases, desfasadas 120° una de otra, como se muestra en la Figura 10.1.1.

Para el diseño de los motores, normalmente se considera que el equipo funcionará a una altura máxima sobre el nivel del mar, definida como 1.000 metros, que es la cota de referencia asociada a la capacidad de los equipos a mantener las características de la aislación, en este caso de los motores, esto porque al alejarse del nivel del mar, disminuye la presión atmosférica y con ello disminuye la rigidez dieléctrica del

aire. Para efectos de compensar esta disminución, si un motor requiere trabajar a mayores alturas, debe considerarse el concepto de derrateo o corrección de la potencia por altitud. Para efectos de esta guía los motores se considerarán que se utilizan a máximo 1.000 msnm (metros sobre nivel del mar).

En la tabla 6.1 siguiente se muestra un ejemplo de factor de corrección o derrateo por altura para el voltaje de los equipos:

Altura (msnm)	Factor de derrateo
1.000	1,00
1.220	0,98
1.524	0,95
3.048	0,80

Tabla 10.1.1: Ejemplos de factor de derrateo

Para efectos de esta guía, el tipo de motor eléctrico a que hace referencia es:

Motor eléctrico.

- Motor de inducción jaula de ardilla.
- Alimentación trifásica en baja tensión (380 VAC).
- Baja tensión hasta 1.000 V
- Frecuencia de la red 50Hz.
- Motor estándar, torque normal.
- Rango de potencia hasta 80 HP (60KW).
- Todo el análisis se realiza considerando el motor operando hasta 1.000 msnm.

Se define en esta guía el uso del motor jaula de ardilla porque es el motor que comúnmente se utiliza en las instalaciones industriales debido a su bajo costo, su bajo mantenimiento, es fácil de encontrar en el mercado para compra como repuesto o nuevo equipamiento y es un equipo robusto que incluso puede ser instalado en ambientes industriales de riesgo.

Todos los motores se certifican bajo normas internacionales, con esto se asegura que cumplirán requisitos estándares de calidad y de operación. Dos instituciones que entregan esta normativa internacional son:

- NEMA (National Electrical Manufacturers Association).
- IEC (International Electrotechnical Commission).

Todos los motores deben contar con al menos una de estas certificaciones.

10.1.1 PRINCIPIO FÍSICO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ELÉCTRICO

Como ya se indicó anteriormente, “los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, en el proceso de transformación de energía, una parte de ella se pierde en forma de calor. Estos motores tienen múltiples ventajas respecto de otros

1953 medios de transferencia de energía, por ejemplo, son económicos, fáciles de usar, maniobrables, son
 1954 seguros en su funcionamiento y son adaptables a diferentes procesos".

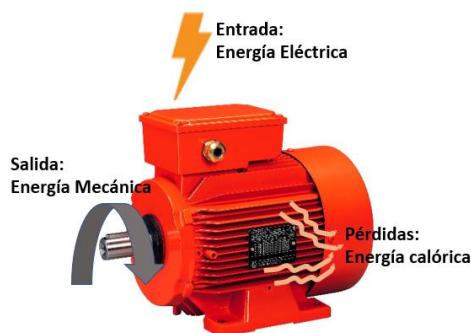


Figura10.1.2: Energías en un motor

(fuente: elaboración propia)

1955
 1956
 1957
 1958 La importancia de estos equipos se desprende en el día a día donde el uso de motores está incorporado
 1959 en la mayoría de los equipos que utilizamos, por ejemplo, en refrigeradores, jugueras, ascensores,
 1960 sistemas de aire acondicionado, escaleras mecánicas, bombas para agua, etc.

1961 10.1.2 MOTOR TRIFÁSICO

1962 Son motores eléctricos alimentados por un sistema trifásico de corrientes (3 fases), en nuestro país
 1963 normalmente usamos la tensión alterna en 380 Vac y 50 Hz, este tipo de motores son ampliamente
 1964 usados en la industria y los encontramos prácticamente en todas las aplicaciones donde se requiere el
 1965 movimiento mediante la transferencia de energía, de esta forma accionan o mueven bombas de
 1966 impulsión, polines que mueven cintas transportadoras, otros. Para efectos de esta guía, solo se tratarán
 1967 los motores trifásicos jaula de ardilla por ser los más comunes que se utilizan en la industria chilena.

1968 El principio de funcionamiento de los motores en corriente alterna se basa en crear un campo giratorio
 1969 en el estator y un campo magnético en el rotor, el campo electromagnético del rotor seguirá al campo
 1970 giratorio del estator, girando el rotor y por lo tanto el motor.

1971

10.1.3 PARTES DE UN MOTOR

Un motor típicamente cuenta con las partes o componentes indicados en la Figura 10.1.3 y que se describen a continuación:

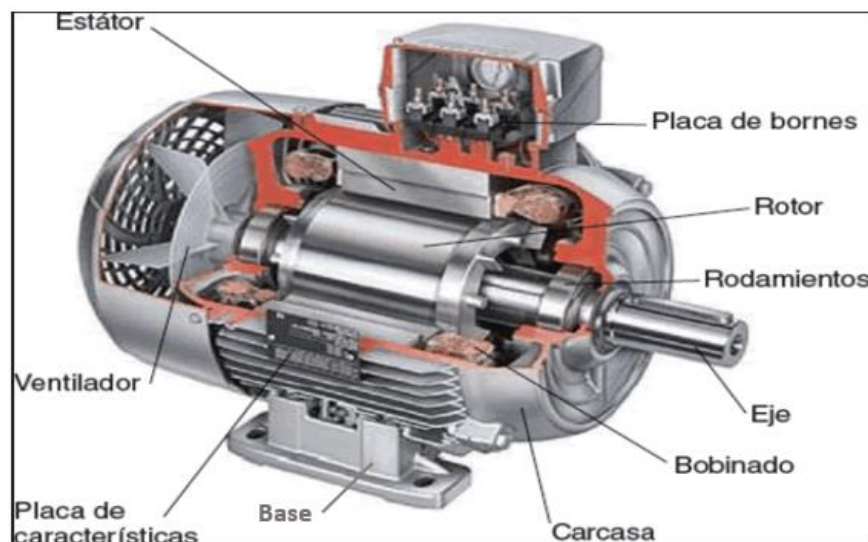


Figura 10.1.3: Componentes de un motor eléctrico

(Fuente: comofuncionaque.com)

- **Estator:**

Constituye la parte fija del motor. El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero sí magnéticamente.

La parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos. Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur). El número de polos define la velocidad de giro del motor (en rpm), se muestra en la tabla siguiente la relación entre el número de polos y la velocidad para los motores más comúnmente usados (frecuencia de la red de 50 Hz):

Número de polos	Velocidad de giro (rpm)
2	3.000
4	1.500
6	1.000
8	750

Tabla 10.1.2: Número de Polos y Velocidad de Giro en un Motor

- **Rotor:**

Constituye la parte móvil del motor. El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él

1990 depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de
1991 acero al silicio que forman un paquete, hay tres tipos de rotores: ranurado, de polos salientes y jaula
1992 de ardilla.

1993 • **Bobinado:**

1994 Constituye el enrollamiento de un hilo o cable conductor que va en la parte interna de un motor
1995 eléctrico, el enrollamiento forma las bobinas que son las encargadas de generar los campos
1996 magnéticos.

1997 • **Carcasa:**

1998 La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su
1999 fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:
2000 totalmente cerrada, abierta, a prueba de goteo, a prueba de explosiones y de tipo sumergible

2001 • **Base:**

2002 La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede
2003 ser de dos tipos: base frontal y base lateral.

2004 • **Placa de bornes o caja de conexiones:**

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.



2005 • **Rodamientos o Cojinetes:**

2006 Contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar
2007 ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia.
2008 Los cojinetes o rodamientos pueden dividirse en dos clases generales: cojinetes de deslizamiento y
2009 cojinetes de rodamientos.

2010 • **Eje:**

2011 Quizás sea el elemento más olvidado en el motor eléctrico, sin embargo, es la parte que transmite la
2012 potencia a la carga, se trata de El Eje. El mecanismo que opera en el interior del material se explica
2013 por los 3 tipos de esfuerzos que sufre, lo que se traduce en fatiga por cargas radiales y de flexión,
2014 cargas axiales y cargas torsionales.

2015 • **Ventilador:**

2016 Para los motores de inducción que utilizan el aire como medio de refrigeración, se utilizan al menos
2017 un ventilador montado en el eje del rotor lo que permite que el aire circule interna y externamente.
2018 La hélice que se encuentra adosada al eje impulsa el viento como consecuencia de la forma de las

aspas. El tipo más común de motores de CA, denominado totalmente cerrado es enfriado por ventilador, tipo IC 41 (o TEFC).

Todos los motores eléctricos generan calor como resultado de las pérdidas eléctricas y mecánicas dentro de la máquina. Los ventiladores para el enfriamiento son necesarios para transferir continuamente el calor a un medio de enfriamiento, tal como el aire, de esta forma el aire que circula gracias al efecto del aspa del ventilador permite el enfriamiento del motor. El calor es el principal agente que produce la degradación gradual del aislamiento en el motor, ya que deteriora los enlaces internos de los materiales aislantes.

• **Placa de Características:**

Cada motor debe disponer en uno de los lados una placa de características, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches de acero inoxidable, mismo material que las placas. Nada puede cubrir esta placa, por ejemplo, pintura del motor. La información debe ser grabada en el metal de las placas de tal manera que pueda ser claramente leída en todo momento, aunque desaparezcan la coloración e impresiones de la superficie.

El contenido de las placas de identificación de los motores debe considerar toda la información necesaria para identificar el motor, indicando entre otros la tensión de alimentación, si es trifásico u otro, la potencia del motor, la corriente del motor, sentido de giro, frecuencia, nombre del fabricante y otros datos relevantes para la identificación de equipo.

Dada la importancia que tiene la información que entrega la placa de características de los motores, es que a partir de la Figura 10.1.4, se entrega la definición de los datos que la placa contiene. Cabe destacar que entre una marca y otra es posible encontrar diferencias como, ubicación de los campos, más o menos información, nomenclatura, otros que no afectan esta definición. Aun así, la información que se entrega a continuación aplica para todos los fabricantes de motores.

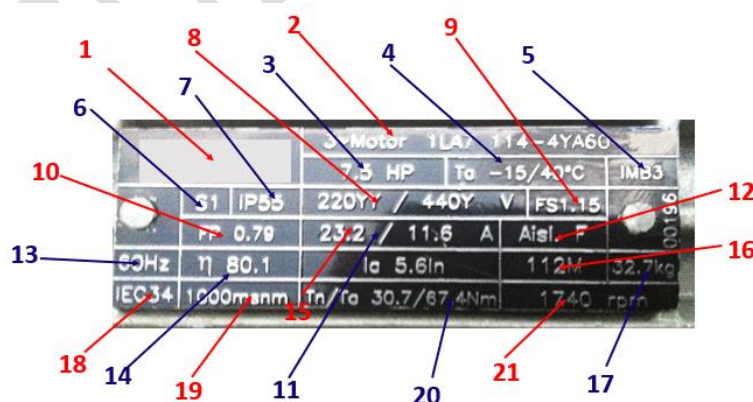


Figura 10.1.4: Ejemplo placa motor

(fuente: elaboración propia)

Utilizando una placa de características de un motor (nota: depende de la marca la estructura de la información que se entrega), se indica a continuación los campos o características que se indican en la placa, lo que es genérico para cualquier proveedor.

1. Nombre del fabricante del motor.
2. Tamaño, características del motor, Clase de máquina (motor-generator): En este caso
 - a. **3 ~** indica que el motor es trifásico de corriente alterna.
 - b. Motor **1LA** indica que es un motor jaula de ardilla.
 - c. **114-4YA60** indica el modelo de motor.
3. Potencia Nominal (en HP, kW o ambos): En este caso indica 7,5 HP.
4. Temperatura de Trabajo: En este caso va de -15 a 40°C.
5. Forma constructiva: En este caso indica **IMB3**, que significa base de montaje lateral.
6. Régimen de funcionamiento nominal: En este caso indica **S1**, lo que significa que es un motor que funciona en forma continua y siempre con carga.
7. Clase de Protección: En este caso indica **IP55**, el primer número indica el grado de protección contra el ingreso de objetos sólidos (polvo o particulado) y el segundo número indica el grado de protección contra el ingreso de agua. Se muestra a continuación tabla con los diferentes grados de protección.

	Primer número: Protección contra sólidos		Segundo número: Protección contra líquidos
0	Sin protección	0	Sin protección
1	Protección contra objetos > 50 mm	1	Protección contra gotas de agua que caen en forma vertical
2	Protección contra objetos > 12 mm	2	Protección contra agua directa con inclinación de hasta 15° de la vertical
3	Protección contra objetos > 2.5 mm	3	Protección contra agua directa con inclinación de hasta 60° de la vertical
4	Protección contra objetos > 1 mm	4	Protegido contra agua directa desde todas direcciones
5	Protegido contra polvo	5	Protegido contra chorros agua a baja presión desde todas direcciones
6	Protegido totalmente contra polvo	6	Protegido contra chorros agua a alta presión desde todas direcciones
7	No usado	7	Protegido para inmersión hasta 1 m en periodos cortos
8	No usado	8	Protegido contra inmersión por largos periodos.

Tabla 10.1.3: Clase protección motor (IP), significado primer y segundo número

8. Voltaje Nominal: Indica la forma de conexión en redes de 220 V y 440 V.

- 2066 9. Factor de servicio: En este caso indica **FS1.15**. Se refiere a cuando el motor puede ser
2067 sobrecargado continuamente sin que se provoquen daños, si el motor es alimentado con
2068 voltaje y frecuencia nominal. Para este ejemplo el valor 1,15 indica que la sobrecarga puede
2069 llegar a un 15%.
- 2070 10. Factor de Potencia o Coseno ϕ : En este caso indica **FP 0,79**. Se refiere a la relación entre la
2071 potencia activa y la potencia aparente.
- 2072 11. Corriente Nominal: En este caso indica **23.2 / 11.6 A**: Significa que la corriente nominal
2073 absorbida (corriente de potencia útil más corriente de pérdidas) es de 23.2 A para el caso de
2074 la conexión en 220 V y de 11.6 A para la conexión en 440V.
- 2075 12. Clase de aislación: En este caso indica **AI SL F**: Como indicamos en párrafos anteriores, la
2076 temperatura es dañina para la aislación del motor, por lo tanto, este valor indica que la
2077 temperatura máxima interna de trabajo del motor es de 155°C.
- 2078 13. Frecuencia Nominal: En este caso indica **60 Hz**: Frecuencia de la red eléctrica.
- 2079 14. Rendimiento: En este caso dice **η 80.1**. Es la relación en porcentaje entre la potencia útil y la
2080 potencia consumida con valores a plena carga, para este caso el cociente es de 80.1%.
- 2081 15. Corriente de partida: En este caso dice que la corriente de partida es 5,6 veces la corriente
2082 nominal.
- 2083 16. Tamaño de marco: En este caso 112M significa un marco con una altura de 112 mm desde
2084 piso al plano del centro del eje y un largo de estator de tamaño medio.
- 2085 17. Peso del motor: En este caso indica **32.7 Kg**.
- 2086 18. Estándar de construcción: En este caso indica **IEC34**, se refiere al estándar 34 de la
2087 Internacional Electrotechnical Commission.
- 2088 19. Altura máxima de trabajo: En este caso se indica **1000 msnm** (metros sobre el nivel del mar)
- 2089 20. Torque: En este caso indica los torques de partida (T_a) y nominal (T_n).
- 2090 21. Velocidad de giro del motor: En este caso se indica **1749 rpm**.
- 2091 A menos que se encuentre en pruebas en el taller o se encuentre en la bodega como repuesto,
2092 nunca se encontrará un motor instalado en terreno sin que esté adosado o sea parte de un sistema
2093 o de un equipo, ya que el motor siempre se utiliza como elemento primario para convertir la energía
2094 eléctrica que lo alimenta en, principalmente, energía mecánica y de esta forma accionar algún
2095 equipo.
- 2096 Los motores eléctricos se utilizan en una gran cantidad de aplicaciones, desde arrancar, acelerar,
2097 mover, frenar, hasta sostener y detener una carga, así encontraremos un motor siempre adosado a
2098 una bomba para formar parte del sistema de bombeo, adosado a un accionamiento de un polín para
2099 mover una correa transportadora, a un sistema de poleas y contrapesos para mover un ascensor, y
2100 otras muchas aplicaciones.
- 2101 Dado que el motor se utiliza para transferir energía a otro dispositivo, su dimensionamiento
2102 depende de las características del dispositivo que recibirá la energía transferida, por ejemplo:

- 2103 a) Si el motor pertenece a un sistema de bombeo, su dimensionamiento depende del
 2104 requerimiento de potencia de la bomba.
 2105 b) Si el motor pertenece a un sistema de ventilación, su dimensionamiento depende del
 2106 requerimiento de potencia del ventilador.

2107 10.1.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN MOTOR ELÉCTRICO

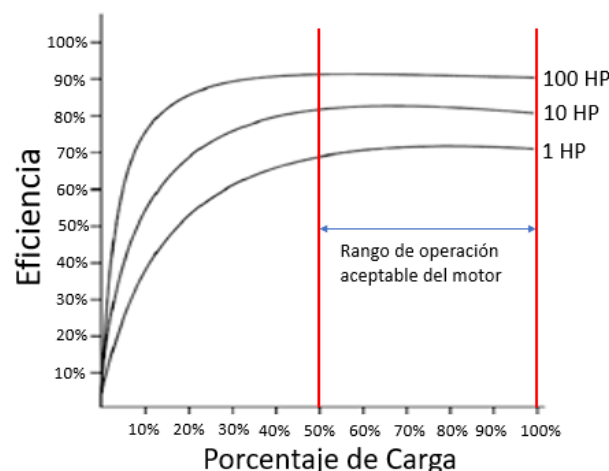
2108 Un motor eléctrico se diseña con una característica definida, bajo una norma definida, para una
 2109 aplicación definida y de esta manera la eficiencia del motor está dada por sus características de
 2110 construcción, siendo el punto de máxima eficiencia energética el punto de trabajo definido por el dato
 2111 de Rendimiento (η) del motor, el valor de rendimiento se muestra como porcentaje en la placa de
 2112 características del motor.

2113 El rendimiento del motor, dado en la placa de características, nos indica cuanto de la potencia eléctrica
 2114 del motor (mostrada en la placa de características) se transfiere como potencia mecánica al accionar la
 2115 carga, en el punto óptimo de trabajo. En otras palabras, se define como:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia Mecánica}}{\text{Potencia Eléctrica}} \times 100$$

2116
 2117 La curva característica de eficiencia vs carga para los motores, indica que para una operación bajo el
 2118 50% de la carga el rendimiento se aleja del valor óptimo y a la vez indica que la eficiencia para motores
 2119 pequeños es menor que la eficiencia para motores mayores trabajando a un mismo valor de porcentaje
 2120 de carga. En la Figura 10.1.5 se muestra la curva característica para tres motores, donde se aprecian las
 2121 diferencias de rendimiento vs carga de acuerdo a sus potencias.

2122



2123

2124 *Figura 10.1.5: Curva típica de eficiencia vs porcentaje de carga de motores*

2125 (fuente: [http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1169&edi=62&xit=como-incrementar-la-](http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1169&edi=62&xit=como-incrementar-la-eficiencia-de-los-motores-de-induccion)
 2126 eficiencia-de-los-motores-de-induccion, traducción propia al español y escrito como porcentaje)

2127 Se debe tener presente que la característica de operación de un motor se ve afectada por el equipo a
2128 ser accionado, si los cálculos del sistema acoplado (motor + bomba, por ejemplo) son correctos, se
2129 puede obtener el punto de eficiencia del motor, en caso contrario no será posible trabajar con el motor
2130 en este punto óptimo.

2131 Considerar los siguientes tips para verificar las condiciones del motor, que pueden evitar la operación
2132 del equipo en el punto óptimo de trabajo o el óptimo de eficiencia energética. No es posible indicar si
2133 alguno de ellos es más relevante que otro ya que eso dependerá del grado de daño asociado a cada
2134 condición.

- 2135 • Si el motor es muy viejo, existe una gran probabilidad que el motor haya perdido sus
2136 características originales, por lo tanto, está trabajando en un punto no óptimo. El concepto de
2137 motor viejo depende del rigor de la aplicación, por ejemplo, si trabaja en un ambiente de
2138 contaminación con ácido, el motor envejece prematuramente, si ha trabajado con temperaturas
2139 altas en forma permanente también envejece prematuramente, para efectos prácticos
2140 considerar motores con más de 15 años de uso continuo.
- 2141 • Si el motor ha sido rebobinado, está trabajando en un punto no óptimo.
- 2142 • Si el motor está trabajando con sobrecarga continua, está trabajando en un punto no óptimo.
- 2143 • Si el motor está trabajando con problemas de rodamientos está trabajando en un punto no
2144 óptimo.
- 2145 • Si el motor acciona una carga por poleas, si no están correctamente tensadas, el motor está
2146 trabajando en un punto no óptimo.
- 2147 • Si el motor está trabajando por sobre los 1000 msnm y no se ha considerado el coeficiente de
2148 derrateo, está trabajando en un punto no óptimo.
- 2149 • Si el motor no está recibiendo el voltaje de alimentación especificado en la placa de
2150 características del motor, está trabajando en un punto no óptimo.
- 2151 • Si el motor está trabajando bajo el 50% de carga, está trabajando en un punto no óptimo.
- 2152 • Cada vez que la organización define el cambio de un motor, considerar que actualmente existen
2153 motores de mayores eficiencias energéticas, permitiendo operar a valores mayores a 95% de
2154 eficiencia. Siempre preferir este tipo de motores para hacer los reemplazos.

2155 10.1.5 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE MOTORES

2156 Una tarea importante para los mantenedores es hacer que los motores cumplan con su vida útil o el
2157 ciclo de vida del activo, para esto es fundamental disponer de un plan de mantención que permita
2158 realizar en tiempo y oportunidad el monitoreo del estado del motor de tal forma de realizar en forma
2159 preventiva los trabajos para mantener en operación el motor dentro de sus parámetros eléctricos y
2160 mecánicos óptimos que permita por un lado su correcta operación, como su trabajo en el óptimo punto
2161 de eficiencia energética.

2162 El voltaje de los motores de baja tensión, como ya se indicó anteriormente, normalmente es de 380 V.
2163 No obstante, toda la instrumentación que se utilice para realizar la medición debe soportar un máximo

2164 de 1.000 V por razones de seguridad, dado que el alcance de esta guía hace referencia a motores de baja
 2165 tensión hasta 1.000 V, indica que la instrumentación que se utilice para hacer las mediciones debe estar
 2166 debidamente aislada para proteger a las personas y equipos ante un contacto accidental con este nivel
 2167 de tensión como máximo.

2168 Para realizar trabajos de mantenimiento preventivo de los motores es necesario disponer de un set
 2169 mínimo de instrumentos, los que se muestran en la figura 10.1.6.



Figura 10.1.6: Herramientas mínimas para chequeo de motor

(fuente: elaboración propia)

2172 Precaución Respecto de la energía: Al hacer las mediciones el personal se expone al contacto con
 2173 energía eléctrica que puede provocar severos daños, comprometiendo incluso la vida de los
 2174 trabajadores, asegúrese que en su instalación existen procedimientos de intervención para realizar
 2175 este trabajo, actúe como se detalla en el procedimiento. Nunca tome riesgos que no están
 2176 evaluados y controlados.

2178 Precaución Respecto del entorno: Al hacer la medición el personal se expone a la interacción en el
 2179 entorno con equipos en funcionamiento, energizados, en movimiento, también se expone a ruido
 2180 ambiente, a contaminación con polvos o gases, a caídas de objetos, asegúrese que en su instalación
 2181 existen procedimientos de intervención para realizar este trabajo, actúe como se detalla en el
 2182 procedimiento.

Medición de Voltaje del motor (Tensión de alimentación máxima 1.000 V):

2185 Es necesario que se verifique el voltaje de cada fase de alimentación al motor, especialmente en las
 2186 instalaciones donde se recibe la energía eléctrica y existen transformadores a la entrada de la planta ya
 2187 que es posible que exista una diferencia provocada por el transformador, diferencia que puede afectar
 2188 la eficiencia energética de los equipos.

2189 Para hacer la medición, utilice un multímetro y proceda a medir a la salida del contactor del motor,
 2190 como se indica en la Figura 10.1.7. Verifique que el valor medido corresponda al valor indicado en la
 2191 placa de identificación del motor.

2192

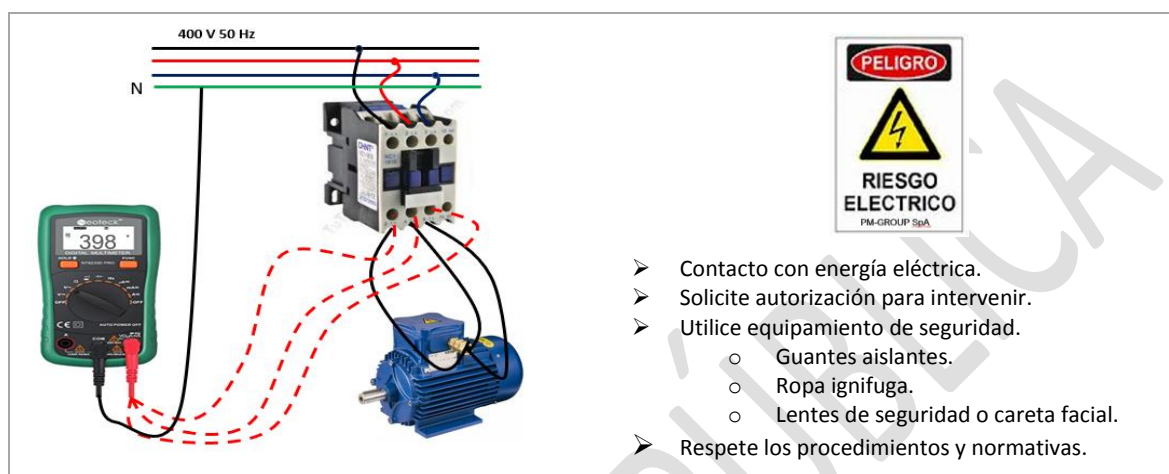


Figura 10.1.7: Medición de Voltaje al motor

2193

2194

(fuente: elaboración propia)

2195 Si el valor medido de voltaje no corresponde al valor de alimentación indicado en la placa de
 2196 características, programe con su equipo de trabajo la revisión de la alimentación en la sala eléctrica,
 2197 revisión del transformador o verifique con su empresa de suministro de energía eléctrica.

2198 **Medición de corriente del motor (Tensión de alimentación máxima 1.000 V):**

2199 Es necesario que se verifique la corriente por cada fase que le llega al motor, ya que es relevante
 2200 considerar que en cada fase la corriente debe ser similar.

2201 Para hacer la medición, utilice una pinza amperimétrica y proceda a medir a la salida del contactor del
 2202 motor, como se indica en la Figura 10.1.8. Verifique que el valor medido corresponda al valor indicado
 2203 en la placa de identificación del motor.

2204

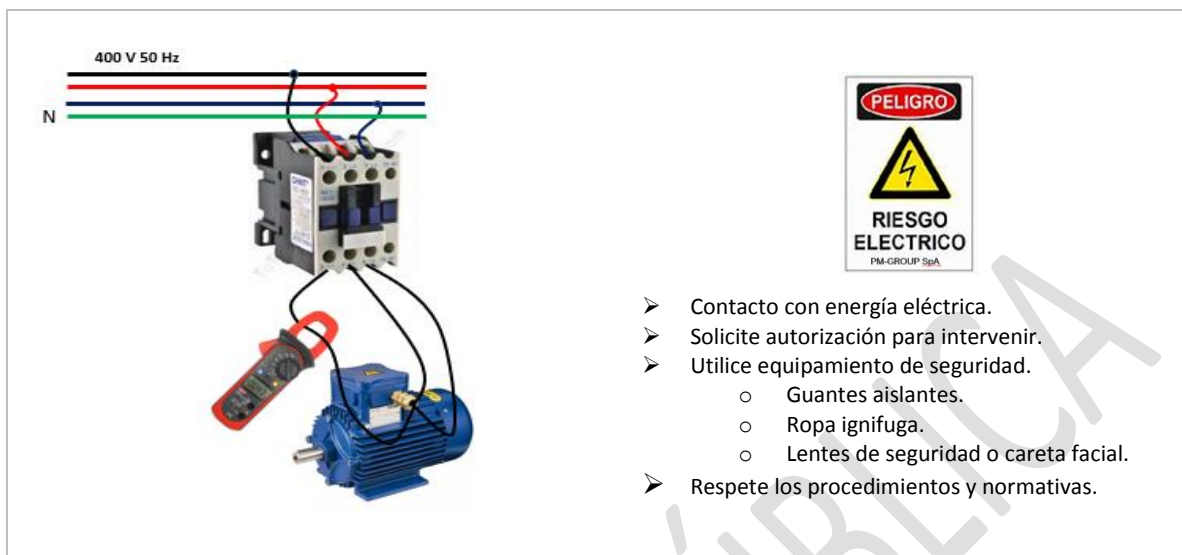


Figura 10.1.8: Medición de Corriente al motor

(fuente: elaboración propia)

Como referencia para la medida corriente del motor:

- Si el valor medido indica diferencias entre las fases, proceda a revisar el motor de acuerdo a las pautas de mantenimiento ya que esta condición indica que el motor está con falla interna por desbalance de corriente, verificar si procede el reemplazo de este motor. Trabajar con el motor en esta condición lo dañará aún más y estará trabajando con ineficiencia energética.
- Si el valor medido es mayor a la corriente indicada en la placa de datos del motor, significa que el motor está con sobrecarga, en este caso monitoree la corriente durante un tiempo y solicite a operaciones que revise las condiciones de operación, si la sobrecarga persiste solicite detener el motor y proceda a revisar de acuerdo a la pauta de mantenimiento, verificar si procede el reemplazo de este motor por uno de mayor potencia ya que de persistir la condición anormal de sobrecarga, terminará por acortar la vida útil del motor y si la sobrecarga es muy alta, terminará por dañarlo. Mientras el motor este trabajando con sobrecarga, está trabajando de una forma ineficiente energéticamente.
- Si el valor medido es menor a lo indicado en la placa de datos del motor, significa que el motor está operando con menor carga que la nominal, verificar si procede el reemplazo de este motor por uno de menor potencia, ya que podría estar trabajando en un punto de ineficiencia energética.

2225 **Potencia del motor:**

2226 Utilizando los valores de Voltaje y Corriente medidos de acuerdo con lo indicado anteriormente, se
2227 puede realizar el cálculo de la Potencia que está consumiendo el motor, utilizando la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi$$

2228

2229 Donde:

2230 **P:** Potencia Eléctrica Consumida por el motor.

2231 **V_L:** Voltaje de línea. Medido según figura 6.7.

2232 **I_L:** Corriente de línea. Medida según figura 6.8.

2233 **Cos Ø:** Relación entre la potencia activa y la potencia aparente, se obtiene de la placa de
2234 características del motor.

2235

2236 **Medición de temperatura del motor:**

2237 Es necesario que se verifique la temperatura de la carcasa del motor ya que los síntomas de
2238 calentamiento son consecuencia de problemas que pueden provocar daños mayores en el motor.

2239 Para hacer la medición, utilice termómetro infrarrojo y proceda a medir la carcasa del motor, como se
2240 indica en la Figura 10.1.9.

2241 Los posibles problemas que generan calentamiento del motor que pueden detectarse con la medición
2242 de temperatura son:

- 2243 • Calentamiento del motor
 - 2244 ○ Problemas en las bobinas (impedancia)
 - 2245 ○ Problemas en los rodamientos (fricción)
 - 2246 ○ Ventilación con problemas (falla ventilador motor o ranuras de ventilación sucias)
 - 2247 ○ Ventilación del entorno con problemas.

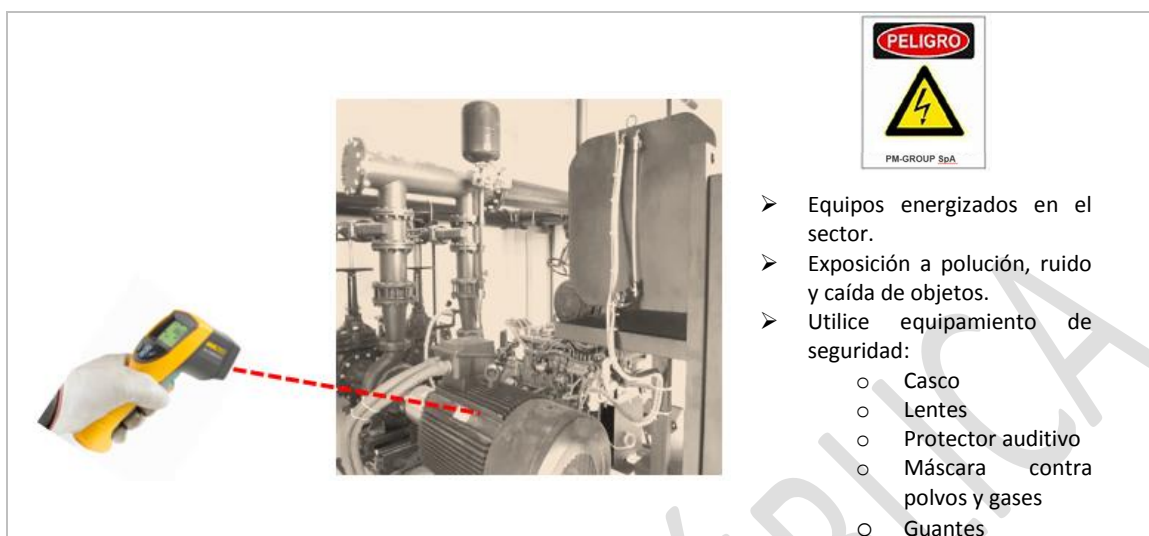


Figura 10.1.9: Medición de Temperatura del motor

(fuente: elaboración propia)

Como referencia para la medida de temperatura del motor:

- ✓ El valor de temperatura máximo de trabajo del motor está definido por su clase de aislación, la que se muestra en la placa de datos, se indica en tabla siguiente la clase de protección y su equivalencia en temperatura de devanados:

Clase de Aislación	Temperatura máxima devanados
A	105 °C
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C

Tabla 10.1.4: Clase aislación motor y temperaturas asociadas.

- Es normal que un motor operando bajo las condiciones óptimas de acuerdo a su placa de datos no llegue a alcanzar las temperaturas indicadas en la tabla anterior, debido a que cuentan con sistemas de enfriamiento, por ello si la medición de la temperatura en la carcasa del motor supera los 90°, la recomendación es hacer un seguimiento por un periodo y si persiste la condición, detener el motor y aplicar la pauta de mantenimiento

Medición de vibraciones en el motor:

Es necesario que se verifique el estado de vibraciones en el motor ya que los síntomas de altas vibraciones son consecuencia de problemas que pueden provocar daños mayores en el motor.

Para hacer la medición, utilice el medidor de vibraciones y proceda a medir en el motor, como se indica en la figura 10.1.10.

2266 Los posibles problemas que generan las vibraciones en el motor que pueden detectarse con la medición
2267 de vibraciones son:

- 2268 • Vibraciones del motor
 - 2269 ○ Problemas eléctricos
 - 2270 ○ Problemas de rodamientos

2271 Dependiendo del equipamiento que se disponga para realizar la medición de vibraciones, será necesario
2272 contar con un servicio más especializado para determinar la naturaleza de la falla, lo que siempre hay
2273 que tener presente es que la presencia de vibraciones es un indicio de problemas en los motores.



2274 *Figura 10.1.10: Medición de Vibraciones del motor*

2275 (fuente: <http://www.pemesa.eu/servicios.php?categoriaid=1>)

2276 Como referencia para la medida de vibraciones del motor y las consideraciones para determinar los
2277 rangos que se consideran para declarar una falla por este efecto revisar Capítulo 9.5.1 Medición y
2278 Control.

2279 10.1.6 PLAN DE MANTENCIÓN

2280 El plan de mantenimiento es fundamental para el cuidado de este activo, un motor tiene actividades de
2281 inspecciones, mediciones, aseo y limpieza, mantenimiento y revisión de componentes, estas actividades
2282 se indican en el plan de mantenimiento que forma parte de la estrategia de mantenimiento preventivo.
2283 Independiente de estas actividades, el motor puede presentar problemas generados por condiciones no
2284 visualizadas en el plan original, se debe incluir en este plan toda actividad de mantenimiento adicional
2285 identificada que permita tomar los controles necesarios para evitar la ocurrencia de fallas del mismo
2286 tipo en el futuro.

2287 Como se ha indicado, debido a la importancia que los motores tienen dentro de la operación industrial,
2288 resulta de vital importancia establecer y llevar a cabo un plan de mantenimiento adecuado que
2289 garantice su correcto funcionamiento, de esta forma existe una conciencia en la industria de que deben

2290 existir planes rigurosos de mantenimiento para los motores eléctricos utilizando preferentemente
2291 mantenencias preventivas periódicas y predictivas, desechando la posibilidad de una orientación al
2292 mantenimiento correctivo.

2293 Siguiendo las pautas de mantención proporcionadas por el fabricante o lo dispuesto en el plan de
2294 mantenimiento de la instalación, la vida útil de los motores puede alcanzar los 20 años, si es que se
2295 respetan las correctas condiciones de montaje y operación.

2296 La tabla 6.2 muestra un plan de mantenimiento preventivo para motores, es necesario considerar que el
2297 plan de mantenimiento es un plan dinámico, donde, por ejemplo, se ajusta la frecuencia de las
2298 actividades que este contempla según sea necesario y se agregan las tareas identificadas durante el ciclo
2299 de vida del activo. De esta manera el plan mostrado en la tabla 6.2 es un plan que indica los eventos de
2300 mantenimiento típicos, es probable que de los análisis de las fallas que se realicen en la organización se
2301 generen nuevas actividades en este plan o bien se modifique alguna tarea ya considerada en el plan.

ÍTEM	TAREA	Semanas Periodo (días)	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Engrase de rodamientos	30	✓				✓				✓				✓				✓				✓			
2	Revisar puesta a tierra de la estructura	90		✓											✓											
3	Ruta de inspección motor (ruidos extraños, temperatura, aseó)	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	Termografía motor	30			✓			✓				✓			✓				✓					✓		
5	Inspección y limpieza motor y componentes	30			✓			✓				✓			✓				✓				✓			✓
6	Inspección a la suportación estructural	120					✓																	✓		
7	Medición de vibraciones del motor	30	✓				✓				✓				✓				✓				✓			
8	Mantenimiento y limpieza cajas eléctricas	30			✓			✓				✓			✓				✓				✓			✓
9	Mantenimiento canalización eléctrica e instrumentación	90			✓										✓											
10	Reapriete de terminales y conexiones	90				✓											✓									
11	Mantenimiento de sensores	90			✓										✓											
12	Inspección visual del estator	360																	✓							
13	Limpieza de estator	360																	✓							
14	Revisión de terminales del estator	360																	✓							
15	Medición de resistencia a tierra	360																	✓							

Tabla 10.1.5: Plan de mantenimiento de motores

(fuente tabla: elaboración propia)

2305 Como se ha explicado, es fundamental llevar un control permanente de los planes de mantenimiento,
2306 mediante el análisis de los KPI, que permitan evaluar la efectividad del plan de mantenimiento en
2307 relación a la cantidad de fallas que ocurren en los motores (o cualquier otro equipo de la instalación), es
2308 decir que el plan sea el correcto o no depende de:

- 2309 Que tan bien esté definido el plan de mantenimiento considerando la cantidad de actividades
2310 que el plan contempla y la frecuencia de intervención definidas en este en relación a la cantidad

y tipos de fallas que se generan en un periodo de análisis. Hay que considerar que el plan de mantenimiento es propio de la instalación y depende de las condiciones particulares de ella, por lo que se debe ir ajustando hasta lograr el óptimo.

b. Que los resultados obtenidos estén alineados con los KPI que la organización ha definido, en caso contrario modificar el plan para mejorar los resultados, controlar permanentemente.

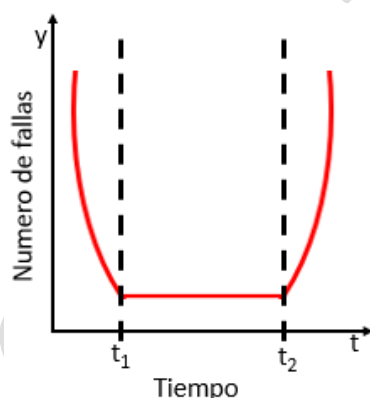
c. Que se cuente con todos los repuestos y suministros necesarios en cantidad, calidad y oportunidad cada vez que se realicen los trabajos definidos en el plan.

10.1.7 FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores en los que se cumple el plan de mantenimiento no deberían presentar fallas durante la operación, aun así, es necesario indicar las posibilidades de fallas que pueden encontrarse durante la vida útil de estos equipos.

En la práctica, los motores eléctricos generalmente tienen una alta probabilidad de falla al comienzo y al final de su vida útil, lo que se define como la curva de la bañera.

Las fallas de la etapa inicial se deben principalmente a problemas en la especificación de los motores y problemas en el montaje. Por su parte, fallas al final de su vida útil se deben al desgaste natural de los componentes del motor. Entre ambos periodos los motores debidamente mantenidos tienen una baja probabilidad de fallas, este comportamiento al ser graficado se conoce como la curva de la bañera y se muestra en forma gráfica en la figura 6-11:



Interpretación del gráfico

$t > t_1$: Fallas iniciales (denominadas infantiles), debidas al montaje, la puesta en marcha y la operación inicial.

$t_1 < t < t_2$: Fallas normales, ocurren durante la operación de la planta mientras se ejecuta el plan de mantenimiento.

$t > t_2$: Fallas por desgaste, se deben a que el motor está en el final de su vida útil.

Figura 10.1.11: Curva de la bañera

(fuente: elaboración propia)

Una vez que los motores han pasado la prueba de la puesta en marcha inicial y superado los problemas de montaje y/o alineamiento, generalmente las fallas en los motores se producen por falta de mantenimiento, control del trabajo del motor, supervisión del consumo de corriente, alimentación de voltaje, temperatura y vibración.

2336 El alineamiento consiste en hacer coincidir el eje de giro en las máquinas rotatorias, ejemplo el eje del
2337 motor con el eje de la bomba. Se destaca que un equipo debidamente alineado, permite un ahorro
2338 energético considerable, dado que se eliminan las fuerzas de reacción al interior de la máquina rotatoria
2339 y a la vez permite que el equipo opere en forma confiable presentando menor frecuencia de
2340 detenciones por fallas.

2341 Como se ha mostrado en los párrafos anteriores, es de vital importancia la definición del plan de
2342 mantenimiento de los motores de la instalación industrial, considerando que normalmente en el
2343 personal de mantenimiento de plantas no están las competencias para rebobinar o cambiar
2344 rodamientos a los motores, que corresponden a las fallas más comunes. En este caso existe un criterio
2345 usado en terreno que se relaciona con los costos y tiempos de intervenciones, este criterio es producto
2346 de la experiencia industrial y se indica a continuación:

- 2347 • Motores bajo 5 HP (3,75 KW): En caso de requerir rebobinado, conviene disponer de equipo
2348 para reemplazo y el equipo en falla desecharlo, dado que los costos de reparación son
2349 mayores que el costo de un motor nuevo.
- 2350 • Motores igual o superior a 5 HP (3,75 KW): En caso de requerir rebobinado, conviene
2351 disponer de equipo de reemplazo y el equipo en falla se envía a reparación por contratista
2352 especialista en motores, con el que normalmente se debiera tener un contrato de servicios.

2353 En ambos casos hay una componente de mantenimiento preventivo, pero cuando definimos que el
2354 motor falla y lo reemplazamos por uno nuevo desechando el que falló, estamos aplicando un
2355 mantenimiento correctivo.

2356 **Falla de rodamientos.**

2357 Una de las principales razones de que los motores queden fuera de servicio debido a fallas se debe a
2358 problemas en los rodamientos. Por ello es relevante disponer de un programa preventivo que considere
2359 el monitoreo de vibraciones y la medición de temperatura ya que en ambos casos puede atribuirse
2360 como causa básica a un problema de rodamientos.

2361 Las principales causas que originan las fallas en los rodamientos, para los motores que necesitan
2362 lubricación, se deben principalmente a los errores de lubricación como, exceso lubricante, escasez de
2363 lubricante, intervalos de lubricación no apropiados, selección incorrecta del lubricante y contaminación
2364 de los rodamientos, luego se encuentran los factores operacionales como, un mal montaje del motor, un
2365 alineamiento incorrecto del motor, motor operando con sobrecarga en forma continua, entre otros.

2366 Si se determina que los rodamientos tienen problemas, hay que definir lo antes posible el trabajo de
2367 superación de la falla, que normalmente debiera consistir en reemplazar el motor por uno en buen
2368 estado (gestión de bodega o abastecimiento) y posteriormente si aplica enviar a reparar el motor con
2369 falla o darlo de baja.

2370 Preferir siempre el uso de rodamientos sellados, debido a que se mantienen aislados de la
2371 contaminación del ambiente donde opera el equipo, permitiendo muchas veces mayor durabilidad.

2372 **Precaución:** Al realizar el personal de mantenimiento las tareas asociadas a la lubricación de los
2373 componentes del motor deben tener en cuenta el uso y disposición correcto de los lubricantes y
2374 desechos que se generen en el trabajo (aceites, grasas, paños contaminados, basura) de forma que no

2375 impacte al medio ambiente, asegúrese que en su instalación existen procedimientos de intervención
2376 para realizar este trabajo, actúe como se detalla en el procedimiento.

2377 Siempre realice un aseo y orden en el lugar de trabajo dejando toda el área libre de elementos que
2378 atenten contra la integridad de las personas, los equipos y el medio ambiente.

2380 **Fallas eléctricas.**

2381 Existen varias causas que pueden provocar fallas eléctricas en los motores, que pueden prevenirse
2382 mediante un correcto plan de mantenimiento utilizando técnicas preventivas y rutas de inspección que
2383 permitan verificar en forma temprana un cambio en el comportamiento del motor, entre ellas podemos
2384 indicar:

- 2385 • Fallas en la alimentación al motor (Voltaje, Frecuencia).
- 2386 • Fallas en los cables de alimentación al motor (cortes, daños).
- 2387 • Motor operando continuamente con sobrecarga.
- 2388 • Problemas de montaje (componentes sueltos, otros).
- 2389 • Problemas de ventilación de los motores.
- 2390 • Problemas mecánicos por golpes y deformaciones de la carcasa.
- 2391 • Componentes internos sueltos que generen roces entre las partes fijas y las partes móviles.

2392 A continuación, se muestran las Tabla 10.1.5 y Tabla 10.1.6 con los principales síntomas de problemas,
2393 las probables causas, la posible falla, como verificar o corroborar esa falla y la acción correctiva para
2394 superar la falla. Hay que tener en cuenta que cualquier falla que afecte al motor, tiene un impacto en la
2395 eficiencia energética del equipo.

2397 10.1.7.1 Catálogo de Fallas en Motores Eléctricos

Descripción de la falla	Afecta eficiencia Energética	Posible causa	Acción correctiva
1. Motor no parte	Sí	1.1. Motor no recibe alimentación eléctrica	1.1.a. Revisar voltaje en tablero de entrada si hay alimentación hacia el motor. Si procede reponer alimentación. 1.1.b. Revisar cable de alimentación en busca de corte del cable. Si procede reparar / cambiar cable. 1.1.c. Verificar tensión antes y después de fusibles. Si procede cambiar fusibles. 1.1.d. Verificar tensión a la salida de interruptor manual o guardamotor. Si procede abrir contactor manual o guardamotor, revisar integridad y reparar o cambiar. 1.1.e. Revisar operación del contactor, si no cierra: - Comprobar continuidad de la bobina, si procede cambiar bobina. - Verificar botón de reposición. - Revisar cableado del contactor, si procede modificar cableado. - Verificar cierre de contactos, si procede cambiar contactos.
		1.2. Baja tensión de alimentación al motor	1.2. Medir tensión en el punto de suministro, si procede elevar la tensión.
		1.3. Caída de tensión considerable en los cables de alimentación del motor	1.3. Calcular caída de tensión en el arranque y si aplica aumentar la sección de los cables de alimentación.
		1.4. Rotor trabado	1.4. Girar mecánicamente el motor (manual) sin carga (desacoplado) y comprobar movimiento, si motor no puede girarse y no se determina el porque a simple vista, proceder a revisar transmisión o revisar rodamientos. Si procede reparar / cambiar rodamientos y / o transmisión o cambiar motor.
		1.5. Carga muy alta	1.5. Probar motor en vacío, si gira libre verificar si el efecto rotor bloqueado lo genera un par resistente de la carga mayor que el par de arranque del motor. Si procede, reducir la carga o cambiar el motor.
		1.6. Enrollado del estator a tierra	1.6. Medir resistencia de aislamiento entre estator y tierra. Si procede reparar / cambiar motor.
		1.7. Enrollado del estator abierto	1.7. Comprobar continuidad en cada fase del estator o medir corriente en cada fase. Si procede reparar / cambiar motor.
		1.8. Jaula abierta	1.8. Revisar comportamiento de corriente de motor, si se generan variaciones cíclicas en las corrientes. Si procede reparar / cambiar motor.
2. Motor gira en sentido inverso	Sí	2.1. Motor mal conectado	2.1. Intercambiar dos fases del cableado del motor.
3. Funcionamiento irregular del motor	Sí	3.1. Funcionamiento del motor en dos fases	3.1. Fusible operado post partida motor. Proceder con: - Medir corriente por fase o tensión en bornes caja conexonado motor. - Revisar fusibles. Si procede, cambiar fusible.
		3.2. Rodamientos desgastados	3.2. Realizar medición de vibraciones, si procede cambiar rodamientos.
		3.3. Carcasa deformada	3.3. Retirar protecciones motor y verificar: - Roces entre elementos fijos y rotatorios, principalmente rotor y estator. - Observar elementos extraños en el entrehierro Si procede reparar y / o cambiar el motor.
		3.4. Falla de jaula	3.4. Soldadura abierta en la jaula. Verificar: - Si existen variaciones cíclicas de la corriente. - Desarmar motor para comprobar estado de jaula Reparar y / o cambiar motor.

Tabla 10.1.5: Causas posibles y soluciones en fallas de motores.

(fuente: elaboración propia)

Descripción de la falla	Afecta eficiencia Energética	Posible causa	Acción correctiva
4. Funcionamiento del motor a baja velocidad	Sí	4.1. Tensión alimentación demasiado baja	4.1. Medir tensión en cada fase en bornes del motor, verificar valor menor al nominal. . Si valor es menor a nominal medir tensión en tablero de entrada. Si procede corregir tensión en la red.
		4.2. Conexión equivocada en caja de conexionado	4.2. Comparar conexión de la caja de bornes con esquema del fabricante (ver lado interno de tapa de la caja de conexiones). Si procede modificar conexionado.
		4.3. Deterioro en la transmisión	4.3. Revisar transmisión para verificar una carga resistente anormal: - Lubricación de engranajes. Si procede lubricar. - Tensado de correas. Si procede ajustar correas.
		4.4. Par resistente de la carga demasiado alta	4.4. Revisar corriente tomada por el motor y verificar si par motor es insuficiente para lograr la velocidad nominal. Si procede reducir la carga o cambiar motor.
		4.5. Bobinado a masa	4.5. Comprobar la aislación a tierra, si procede cambiar motor.
		4.6 Conexión interna errónea en alguna bobina o cortocircuito entre espiras	4.6. Desarmar motor y revisar enrollado, si procede reparar, rebobinar y cambiar motor.
5. Partida irregular de motor	Sí	5.1. Contactos quemados o con gran desgaste en el contactor	5.1. Desarmar contactor y revisar contactos, si procede cambiar contactor.
		5.2. Desajuste en el polo de sombra del contactor	5.2. En el contactor escuchar ruido característico de intermitencia de contactos, reparar polo de sombra.
		5.3. Error conexionado del contactor	5.3. Revisar alambreado contactor según plano de conexionado, modificar conexiones.
		5.4. Cortocircuito en espiras del estator	5.4. Escuchar zumbido y verificar alta corriente, desarmar el motor y verificar bobinado del estator. Si procede reparar el cortocircuito, rebobinar y / o cambiar el motor
6. Temperatura motor mayor que la permitida	Sí	6.1. Tensión de alimentación baja	6.1. Medir tensión en los bornes del motor, si procede regular la tensión a valores nominales
		6.2. Funcionamiento en dos fases	6.2. Medir tensión en los bornes del motor, si procede reemplazar fusible, reparar cables.
		6.2. Carga excesiva	6.2. Comprobar corriente consumida por el motor, no puede superar los datos de placa, si procede reducir la carga o cambiar el motor por otro de mayor potencia.
		6.3. Clase de servicio demasiado exigente	6.3. Verificar que el motor sea el correcto para el uso que está teniendo (partidas, paradas), si procede Operar el motor de acuerdo a diseño, si no tiene la capacidad se debe cambiar el motor.
		6.4. Aberturas de ventilación obstruidas por suciedad o materiales extraños	6.4. Revisar si hay elementos extraños o suciedad en las aberturas del motor o en las guías de aire, proceder con aseo y limpieza.
		6.5. Ventilador con problemas	6.5. Retirar protección y verificar funcionamiento del ventilador, reparar o cambiar ventilador.
		6.6. Malas condiciones de circulación de aire en el exterior	6.6. Verificar que nada dificulte la circulación de aire externo, verificar temperatura externa, controlar buena circulación de aire.
		6.7. Cortocircuito entre espiras en el estator	6.7.a. Verificar zumbido característico y altas corrientes. 6.7.b. Desarmar motor para revisar bobinado del estator. Si procede, reparar cortocircuito, rebobinar motor o cambiar motor.
		6.8. Falla de soldadura en la jaula o cortocircuito en el bobinado del rotor	6.8.a. Medir corrientes de fases y verificar variación cíclica característica. 6.8.b. Desarmar motor para observar el rotor. Si procede, reparar o cambiar motor.
		6.9. Desgaste de rodamientos	6.9. Realizar medición de vibraciones, si procede cambiar rodamientos o cambiar motor.

Tabla 10.1.6: Causas posibles y soluciones en fallas de motores.

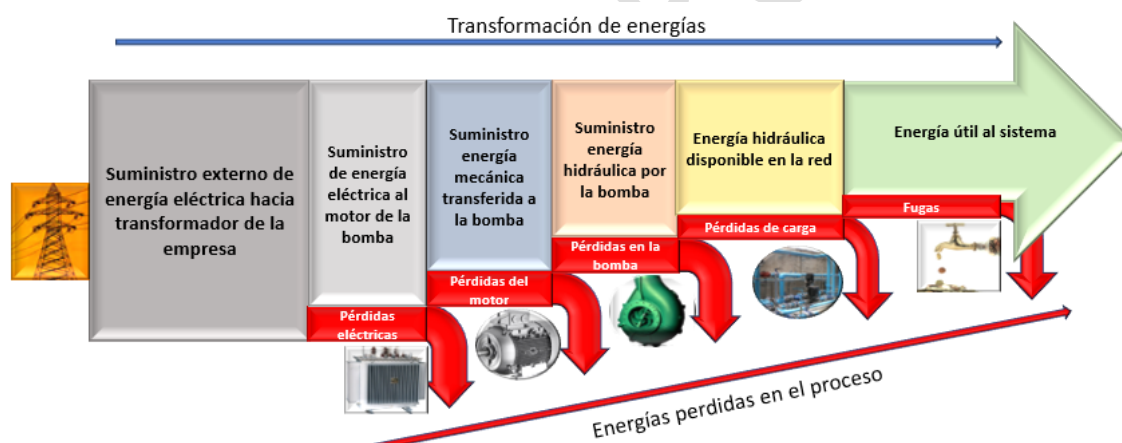
(fuente: elaboración propia)

2404 10.2 SISTEMAS DE BOMBEO

2405 Las bombas e instalaciones de bombeo están presentes en prácticamente todos los tipos de industria.
 2406 Son sistemas esenciales y vulnerables en casi todos los procesos de transporte de fluidos desde el agua
 2407 necesaria para aspectos sanitarios en cada departamento de la empresa hasta los fluidos asociados a la
 2408 producción de la infraestructura industrial. El diseño, operación y mantenimiento adecuados de los
 2409 sistemas de bombeo evitan riesgos sanitarios graves, incluida la pérdida completa del suministro de
 2410 agua a las instalaciones y los procesos y la detención de la producción.

2411 Para evaluar la seguridad, suficiencia y confiabilidad del sistema bombeo, las áreas de operaciones y
 2412 mantención, en función de la gestión de activos y de la eficiencia energética, deben incluir a los sistemas
 2413 de bombeo como parte integral de su estrategia de operación y mantenimiento

2414 Los sistemas de bombeo, analizados desde el punto de vista energético, presentan una gran
 2415 oportunidad de búsqueda de mejoras debido a que, por problemas de diseño, de operación o de
 2416 mantenimiento, son capaces de generar una gran cantidad de pérdidas de energía, ya sea energía
 2417 eléctrica, energía mecánica y energía hidráulica, las que debidamente atendidas pueden generar
 2418 ahorros significativos en este proceso y de esta forma apalancar el objetivo de la gestión de activos. En
 2419 la Figura 10.2.1 se muestra un esquema simplificado de las pérdidas que pueden producirse en un
 2420 sistema típico de bombeo en cualquier instalación industrial.



2421 *Figura 10.2.1: Diagrama simplificado de balance de energía sistema bombeo*

2422 (Fuente: Elaboración propia)

2423 De la figura 10.2.1 se desprende la importancia de que el personal de operaciones, por una parte, tenga
 2424 un permanente monitoreo y control de la operación de los sistemas de bombeo y el personal de
 2425 mantenimiento, por otra parte, salvaguarde la integridad de los activos en forma óptima de forma de
 2426 evitar la cadena de pérdidas energéticas y económicas.

2427 La Figura 10.2.1 del diagrama simplificado de balance de energía en sistema de bombeo, además de
 2428 mostrar esquemáticamente el ciclo de pérdidas de energías que se traduce en pérdidas económicas,
 2429 también presenta información de donde el personal de operaciones y de mantenimiento deben poner el
 2430

2431 énfasis de sus respectivas áreas para operar y mantener los sistemas de bombeo en el punto óptimo
2432 desde el punto de vista de la estrategia de gestión de activos.

2433 En base al diagrama simplificado de balance de energía de los sistemas de bombeo, se procederá a
2434 realizar la guía del sistema de bombeo en las cuatro áreas definidas en este informe.

2435 Un sistema de bombeo típico está formado según el esquema de la figura 10.2.2:

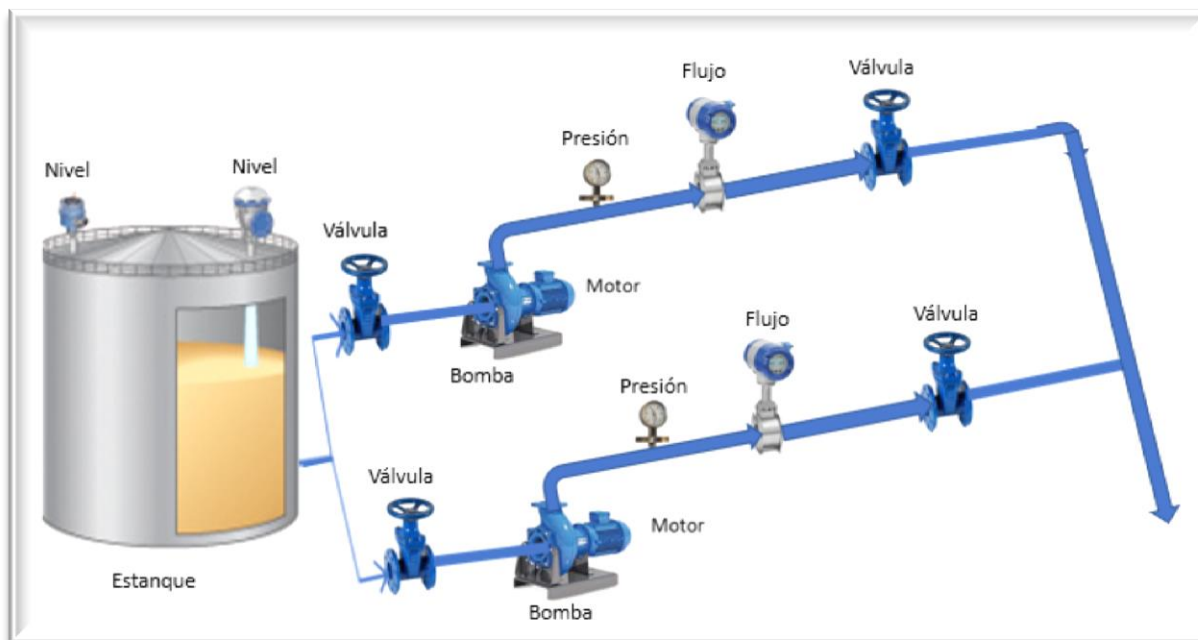


Figura 10.2.2: Esquema básico de un sistema de bombeo

(Fuente: Elaboración propia)

2439 Los componentes de un sistema de bombeo, de acuerdo con la figura anterior son:

- 2440 • Bomba: impulsa el fluido.
- 2441 • Motor: entrega energía a la bomba.
- 2442 • Instrumentación de medición como nivel, presión, flujo: medir variables del proceso.
- 2443 • Válvulas: regula el flujo y/o la presión del fluido.
- 2444 • Piping: cañerías que transportan el fluido.
- 2445 • Estanque: acumulador o reservorio donde se encuentra el fluido almacenado antes del
- 2446 transporte.

2447 Cada componente por si solo tiene un óptimo de eficiencia energética, definido al momento de su
2448 fabricación, sin embargo, hay que considerar el óptimo de eficiencia energética del sistema en su

2449 conjunto al momento de hacer la definición sobre el punto de operación del sistema de bombeo desde
2450 el punto de vista de la eficiencia energética.

2451

2452 10.2.1 GESTIÓN DE OPERACIONES PARA LOS SISTEMAS DE BOMBEO

2453 Determinación de los puntos de operación de los sistemas de bombeo

2454 Datos de Las Bombas:

La primera fuente a la que debe recurrirse para obtener información sobre las bombas es la placa de datos que estos equipos traen consigo, la cual proporciona información útil y necesaria para su identificación y evaluación.



2455 Con la información de placa (marca, modelo, velocidad, diámetro y tipo de impulsor) se puede recurrir a
2456 los catálogos del fabricante para obtener las características técnicas (curvas características, carga vs.
2457 caudal, eficiencia vs. Caudal, altura de succión vs. caudal, etc.) de la bomba o bombas de interés. Aun
2458 cuando no se cuente con los datos de placa es posible obtener información para seleccionar un modelo
2459 de bomba semejante.

2460 Los datos de la placa de la bomba se explican en la Figura 10.2.3, utilizando en forma genérica la placa
2461 de una bomba.

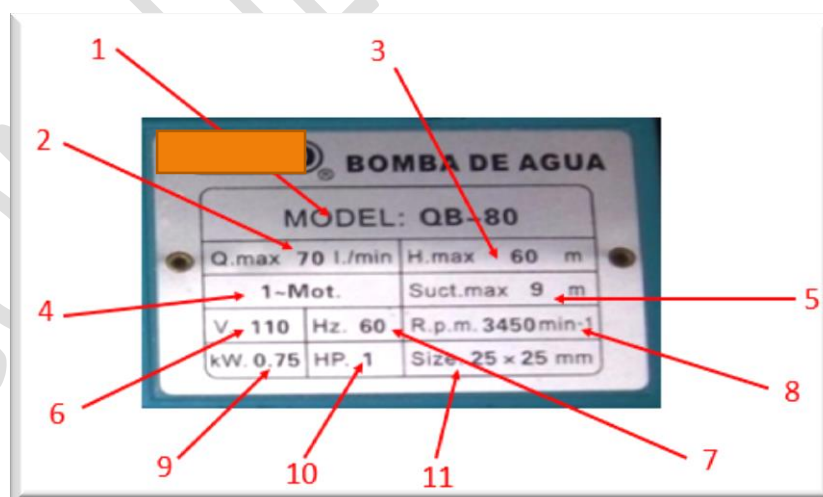


Figura 10.2.3: Placa característica de la bomba

- 2465 1. Modelo de la bomba
- 2466 2. Caudal máximo
- 2467 3. Altura máxima
- 2468 4. Tipo de Motor (Monofásico)
- 2469 5. Altura de Succión
- 2470 6. Voltaje Volts
- 2471 7. Frecuencia de la red Hz
- 2472 8. Velocidad de Giro.
- 2473 9. Potencia kW
- 2474 10. Potencia en HP
- 2475 11. Tamaño de la carcaza
- 2476

2477 Es necesario conocer las propiedades del fluido que se maneja o se manejará en cada bomba, ya que en
2478 función de las mismas se realizará la evaluación de la bomba.

2479 **Parámetros de medición:**

2480 Los parámetros que deben medirse en condiciones normales de operación y por lo menos dos ciclos de
2481 trabajo de producción, para realizar una correcta evaluación son los siguientes:

- 2482 • Caudal (m^3/h o m^3/s).
- 2483 • Presión (kg/cm^2 o mca o Bar).
- 2484 • Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).
- 2485

2486 **Curva característica de la bomba:**

2487 Si bien existen varios tipos de bombas, las más usadas en la industria son las bombas centrífugas. A
2488 continuación, se muestran las curvas características de estas bombas

2489 Teniendo la información de los datos de placa de la bomba, se deben consultar los catálogos o
2490 información técnica del fabricante para obtener las curvas características de la bomba centrífuga; dichas
2491 curvas son aquellas que relacionan las variables que Intervienen en el funcionamiento de esta (Figura
2492 10.2.4).

2493 Las curvas características de las bombas presentan datos similares independientemente del fabricante y
2494 en general incluyen:

- 2495 • La curva de presión vs. caudal (trazada para diferentes diámetros de impulsor y a velocidad
2496 constante).
- 2497 • La curva de NPSH vs. caudal.
- 2498 • La curva de eficiencia vs. caudal.
- 2499 • La curva de potencia vs. caudal.

2500

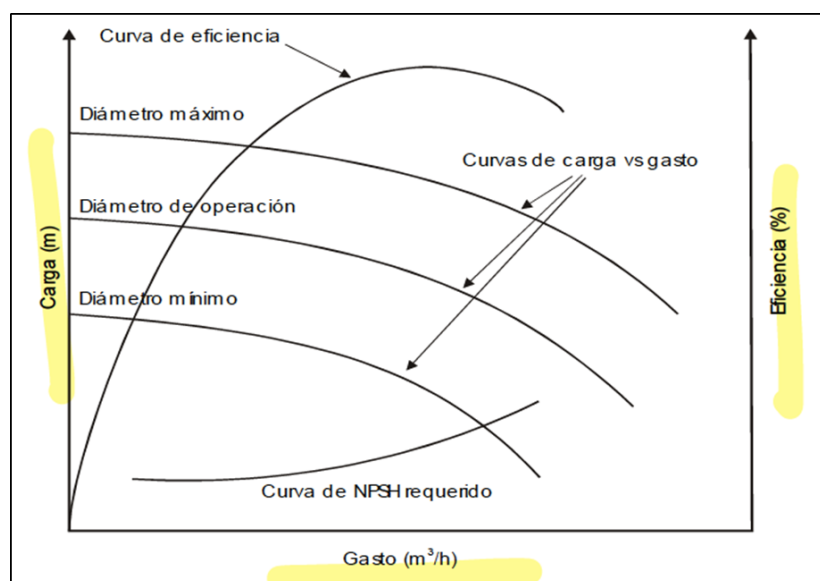


Figura 10.2.4: Curva característica de una bomba

NPSH :

Es la altura de succión positiva neta o la presión, en columna de agua, en la entrada de la bomba. Los fabricantes definen una curva de NPSH requerido, ver figura 10.2.4, para la bomba en función del gasto o caudal y de la carga de la bomba. Al momento del diseño del sistema de bombeo los diseñadores deben calcular el NPSH disponible en el sistema. Por criterio de diseño se debe dar que el NPSH disponible debe ser mayor que el NPSH requerido para que la bomba opere eficientemente.

Curva de operación del sistema:

La curva del sistema queda definida por la carga estática total y las pérdidas de presión en el sistema de bombeo (carga dinámica).

10.2.2 EFICIENCIA DE LA BOMBA

En caso de no contar con las curvas características de la bomba, se puede determinar la eficiencia de la bomba mediante el siguiente procedimiento:

- Determinar la potencia demandada por la bomba o la entregada por el motor, mediante la ecuación:

$$\text{Potencia Demandada por la Bomba (hp o kW)} = \text{Potencia del motor (medida)} \times \eta \text{ (motor)}$$

- 2518 • Establecer la potencia hidráulica de la bomba mediante la siguiente ecuación:

2519
$$\text{Potencia hidráulica (W)} = \rho \times g \times Q \times H$$

2520 Donde:

2521 Q: caudal (m³/s)

2522 H: presión total (m)

2523 ρ : densidad del fluido (kg/m³)

2524 g: aceleración de la gravedad (m/s²)

2525 De tal manera que la eficiencia de la bomba queda definida como:

2526

2527
$$\eta (\%) = \frac{\rho g Q H}{\text{Potencia Demandada por la Bomba}}$$

2528

2529 El consumo de energía se determina con la potencia que demanda el conjunto bomba-motor y el tiempo
2530 de operación del mismo (horas al año).

2531
$$\text{Consumo (Wh)} = (\text{Potencia medida}) / (\text{horas de operación})$$

2532 Precaución: Al trabajar con una bomba debe tener presente siempre que:

- 2533 ✓ Una bomba es un dispositivo que contiene piezas que están en rotación y que por tanto pueden
2534 ser peligrosas. Los operadores y el personal de mantenimiento deben ser conscientes de esto y
2535 seguir las recomendaciones de seguridad.
- 2536 ✓ Usar zapatos de seguridad, casco, gafas y guantes cuando maneje partes ó herramientas
2537 pesadas y/o para manipular equipos, piezas y partes del conjunto motor y bomba.
- 2538 ✓ Desconectar la bomba de la fuente de energía antes de practicar cualquier labor de
2539 mantenimiento. Uso de Bloqueo.
- 2540 ✓ Asegurarse que la bomba está aislada de un sistema presurizado antes de desmontarla.
- 2541 ✓ No retirar tapones ó válvulas de drenaje cuando el equipo esté funcionando.
- 2542 ✓ Nunca tratar de acoplar tuberías a las bombas a la fuerza. Los tamaños deben ser los adecuados.
- 2543 ✓ Asegurar la bomba antes de operarla para evitar que se caiga o se deslice.
- 2544 ✓ No operar las bombas con las válvulas de descarga, esto ocasionará recirculaciones de fluido en
2545 la bomba, dañando sellos, elementos rodantes y de manera significativa le eficiencia energética
2546 del sistema
- 2547 ✓ Nunca tome riesgos que no están evaluados y controlados.

2548

10.2.3 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LOS SISTEMAS DE BOMBEO

Como se explicó anteriormente, el rol del equipo de mantenimiento es mantener la función operativa de los activos. Para los sistemas de bombeo la función consiste en entregar fluido a un caudal y presión determinados por un intervalo de control o rango de operación. Cualquier punto de operación por sobre o debajo de este rango de operación debe ser considerada como una falla funcional, lo que implica que una falla funcional no es necesariamente una detención no programada del equipo o sistema, por ejemplo: una bomba puede continuar en operación, pero a un caudal menor al requerido por el contexto operacional, ya sea por obstrucción de la succión o descarga, por falla en el rodete o incluso por un error en el diseño de la bomba. La bomba continúa en operación, pero a un caudal menor. Esto es una falla funcional, es decir no está cumpliendo su función en el contexto operacional en el que está involucrada.

En el caso que el sistema se encuentre en falla funcional es el equipo de mantenimiento quien debe devolver el activo a las condiciones de operación.

10.2.3.1 Árbol o Jerarquía de Equipos en un Sistema de Bombeo

Una herramienta de gestión muy útil, para mantener identificados los componentes de los sistemas operativos y sus potenciales fallas funcionales, son los árboles de equipos o también llamados jerarquías de equipos. En la figura siguiente se desagregan los equipos en **un árbol de equipos** típicos de sistemas de bombeo:



Figura 10.2.5: Árbol de equipos sistema bombeo

2569 La profundidad con la que se elaboran estos árboles de equipos depende de la criticidad, complejidad,
2570 de la función operativa, del costo de los elementos. Hay casos en que estos árboles solo contienen el
2571 motor y la bomba y forman parte de un árbol mayor, en otros casos estos árboles contienen
2572 identificados hasta los componentes internos de las bombas, siendo la bomba un sistema complejo en sí.

2573 10.2.3.2 Plan de Mantenimiento para un Sistema de Bombeo

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL							Primer Semestre																															
Actividad	Equipo	Tareas	Frecuencia	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio											
							Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4				
Plan de Lubricación	Bomba	Cambio de lubricante	trimestral	4	Lub1																																	
		Muestreo	mensual	1	Lub1																																	
		Análisis	mensual	48	Lub1																																	
	Motor	Ruta de Inspección	Semanal	0,5	Lub1																																	
		Engrase de rodamientos	mensual	2	Lub1																																	
		Ruta de inspección	Semanal	0,5	Lub1																																	
Plan END	Estanque	Termografía	mensual	0,5	Lub1																																	
		Medición de espesores	Anual	60	Insp1																																	
	Piping	Medición corrosión	trimestral	45	Insp1																																	
Mantenimiento Mecánica	Motor	Medición de espesores	Anual	60	Insp1																																	
		Inspección y limpieza	mensual	3	Mec1																																	
	Bomba	Medición de vibraciones	mensual	1	Mec1																																	
		Medición de vibraciones	mensual	1	Mec1																																	
		Mantenimiento bomba	trimestral	4	Mec1																																	
		Cambio Rodete	Semanal	8	Mec1																																	
Mantenimiento Eléctrico	Transformadores	Inspección / limpieza	trimestral	2	Elec1																																	
		Mantenimiento instrumentos	trimestral	3	Elec1																																	
		Reapriete terminales	trimestral	2	Elec1																																	
		Análisis aceites	Anual	1	Elec1																																	
		Termografías	anual	1	Elec1																																	
	Motor	Ruta inspección	Semanal	1	Elec1																																	
		Limpieza	mensual	2	Elec1																																	
		Mantenimiento canalización eléctrica	trimestral	3	Elec1																																	
		Reapriete terminales	trimestral	1	Elec1																																	
		Mantenimiento sensores	trimestral	2	Elec1																																	
	Sala Eléctrica	Inspección / limpieza	Semanal	6	Elec1																																	
		Revisión de protecciones	Semanal	4	Elec1																																	
		Reapriete terminales control y fuerza	Semanal	4	Elec1																																	
		Termografías	trimestral	6	Elec1																																	
		Reapriete terminales	trimestral	4	Elec1																																	
Mantenimiento Estanque y Piping	Luminarias	Inspección sello/limpieza	Semanal	4	Elec1																																	
		Cambio según inspección	Mensual	2	Elec1																																	
	Estanque	Plan de Pintura	Anual	180	Mec2																																	
		Plan END	Anual	60	Mec2																																	
	Estructura Soportes	Plan de Pintura	Semanal	45	Mec2																																	
		Plan END	Anual	60	Mec2																																	
	Piping	Cambio empacadura	Inspección	6	Mec2																																	
	Válvula Seguridad	Plan de Calibración	Semanal	4	Mec2																																	
		Mantenimiento sensores	trimestral	3	Inst1																																	
	Mantenimiento Instrumentación	Sensores Presión - Flujo	Mantenimiento transmisiones	trimestral	3	Inst1																																
Mantenimiento separación			Semanal	2	Inst1																																	
Ruta de inspección			semanal	1	Inst1																																	
Calibración			trimestral	2	Inst1																																	
Válvulas		Ruta inspección	semanal	1	Inst1																																	
		Mantenimiento componentes	trimestral	2	Inst1																																	
		Mantenimiento líneas aire y reparticiones	trimestral	2	Inst1																																	

2574
2575 *Tabla 10.2.2: Plan de mantención sistema bombeo*

2576 En el plan de mantenimiento mostrado en la tabla 10.2.2 se agregan el nombre del recurso de manera
2577 ficticia, sin embargo, esto es propio de cada empresa, ya sea el nombre de la persona encargada, la
2578 empresa de servicios que hace el servicio de forma externa, un código de especialidad o el nombre de
2579 una cuadrilla. En cuanto al costo también es propio de cada organización, porque varía en función de la
2580 industria, la localidad, el año, la divisa. Sin embargo, es importante que las organizaciones asignen la
2581 totalidad de los costos por cada actividad y se actualice regularmente.

10.2.3.3 Plan de Mantenimiento De La Bomba

La bomba es el equipo que permite impulsar un fluido con determinadas condiciones de caudal, presión y temperatura. Desde el punto de vista de mantenimiento la bomba cumple una función operativa que aporta valor al proceso productivo. Cuando algunos de los parámetros de caudal, presión o temperatura están fuera de las bandas de control o parámetros de diseño, se dice que la bomba está en falla funcional, aunque no esté detenida y siga en operación. El hecho que no cumpla la función operativa implica una falla funcional. La responsabilidad de mantenimiento es devolver o mantener la función operativa de la bomba y debe ejecutar las acciones necesarias para que la bomba no entre en falla funcional.

Las principales partes de una bomba centrífuga se muestran en la Figura 10.2.6.

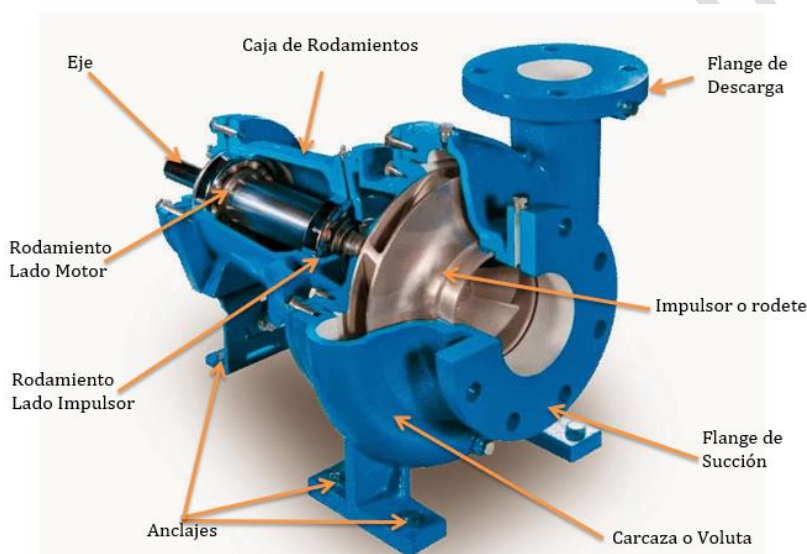


Figura 10.2.6: Partes de una bomba

Fuente: <http://como-funciona.co/una-bomba-centrifuga/>

10.2.3.4 Catálogo de Fallas en Sistemas de Bombeo

En la Tabla 10.2.3 y la Tabla 10.2.4 se muestran las principales fallas que pueden ocurrir en las bombas, las posibles causas de estas fallas y cuáles son las acciones para corregirlas.

2599

Falla	Afecta Eficiencia Energética	Causa	Acción
1. Bomba no levanta presión	Si	1.1 Giro en sentido inverso	1.1 Cambio de conexiones de motor eléctrico
		1.2 Bomba no cebada	1.2 Válvula de pie o retención de columna pierde. Pérdida en juntas o tubería de aspiración. Inspeccionar potenciales filtraciones de aire al sistema
		1.3 Velocidad de giro baja	1.3 Con tacómetro comprobar la velocidad. Motor Eléctrico: Averiguar motivo que provoca esa baja velocidad: a) Consumo excesivo b) Frecuencia baja Reemplazar motor si no se supera el problema
		1.4 Presión o altura de descarga es menor a la requerida	1.4 Aumentar velocidad de giro de la bomba o aumentar el diámetro del rodete
		1.5 Altura de aspiración muy alta o cavitación leve	1.5 Acelerar la bomba al nivel del agua. Cambiar la bomba por otra de menor NSPHr. Mayor diámetro de la tubería
		1.6 Rodete obstruido	1.6 Desatascar rodete
		1.7 Toma aire el tubo de aspiración	1.7 Realizar prueba de presión en la tubería de aspiración, incluyendo la bomba y observar cualquier escape en líquido.
2. Caudal insuficiente	Si	2.1 Válvula obstruida	2.1 Limpiar válvula
		2.2 Poca sumergencia o hambruna	2.2 Sumergir más la válvula de pie. Reducir caudal. Aumentar la altura del nivel en estanque de alimentación
		2.3 Toma aire tubo de aspiración	2.3 Realizar prueba de presión en la tubería de aspiración, incluyendo la bomba y observar cualquier escape de fluido
		2.4 Rodete parcialmente atascado	2.4 Desatascar los conductos del rodete
		2.5 Bolsa de aire aspiración	2.5 Cambiar disposición tubería disponer llaves de purga de aire
		2.6 Altura aspiración grande	2.6. Acelerar la bomba al nivel del agua. Cambiar la bomba por otra de menor NSPHr. Mayor diámetro de la tubería
		2.7 Toma de aire en prensa estopa o sello mecánico	2.7 Ajuste de prensa estopa o sello mecánico o reemplazar si corresponde
		2.8 Sentido de giro cambiado	2.8 Cambio de conexiones de motor eléctrico
		2.9 Desgaste de piezas internas	2.9 Cambiar las piezas desgastadas
		2.10 Fuga en tubería de impulsión o descarga	2.10 Probar presión de tubería y eliminar las fugas
3. La potencia absorbida es superior a la prevista	Si	3.1 Altura real de la instalación es inferior a la suministrada por la bomba	3.1 Reducir el diámetro del rodete
		3.2 Peso específico y viscosidad superior a lo previsto	3.2 Reducir caudal con la válvula reguladora o cambio de motor
		3.3 Prensa estopa muy apretada	3.3 Soltar tuercas de la prensaestopa
		3.4 Velocidad alta del fluido	3.4 Reducir velocidad. Disminuir diámetro de rodete
		3.5 Gasto energía eléctrica elevado	3.5 Comprobar torque de los pernos en los bornes. Verificar tensión red, disminuir el caudal con válvula reguladora

2600

2601

Tabla 10.2.3: Fallas típicas en bombas

2602

Falla	Afecta Eficiencia Energética	Causa	Acción
4. Pérdida de cebado de la bomba durante la operación	No	4.1 Excesiva altura de succión	4.1 Acelerar la bomba al nivel del agua. Cambiar la bomba por otra de menor NSPHr. Mayor diámetro de la tubería
		4.2 Ingreso de aire por la prensa estopa o sello mecánico	4.2 Ajuste de prensa estopa o sello mecánico o reemplazar si corresponde
		4.3 Toma de aire en aspiración	4.3 Probar a presión la tubería de aspiración, incluyendo la bomba y observar cualquier escape de fluido. Sellar si se encuentran fugas o cambio de piping si corresponde
		4.4 Cavitación	4.4 Rediseño del sistema completo
5. Filtraciones de fluido por sello mecánico o prensa estopa	Si	5.1 Falta empaquetadura, esta desgastada o no es apropiada	5.1 Añadir empaquetadura, montar la apropiada
		5.2 Eje desgastado camisa del eje rayado	5.2 Rectificar eje o camisa del eje. Cambiar eje o camisa
		5.3 Cierre mecánico desgastado	5.3 Cambiar el sello por uno nuevo
6. Bomba con vibraciones sobre la norma	Si	6.1 Base o anclaje defectuoso	6.1 Corregir defecto
		6.2 Desalineamiento	6.2 Comprobar alineamiento, Si procede volver a alinear.
		6.3 Desbalanceo del rodete por rotura u obstrucción parcial	6.3 Cambiar rodete, limpiar rodete
		6.4 Eje Flectado	6.4 Cambio de eje por uno nuevo
		6.5 Burbujas de aire en el fluido	6.5 Desairear el líquido o evitar su entrada en la bomba
		6.6 Cavitación excesiva	6.6 Rediseño del sistema completo
7. Rodamiento se calienta	Si	7.1 Desalineamiento acople motor bomba	7.1 Corregir alineamiento
		7.2 Acumulación de tensiones del piping sobre la bomba	7.2 Eliminar tensiones soltando tuberías o instalar juntas de expansión
		7.3 Empuje axial elevado	7.3 Limpiar orificios, compensación del rodete. Ajustar juego de aro de cierre
		7.4 Lubricación deficiente	7.4 Lubricar de acuerdo a manuales de fabricante, considerando el tipo de lubricante y frecuencia de lubricación.

2603

2604

Tabla 10.2.4: Fallas típicas en bombas

2605

Mantenimiento estanque almacén y mantenimiento líneas.

2606

En esta sección se consideran los siguientes componentes:

2607

- Piping

2608

- Instrumentación (nivel, presión, flujo)

2609

- Estructuras

2610

- Válvulas manuales y válvulas automáticas

2611

2612

2613 10.2.4 PIPING

2614 Uno de los componentes del sistema de bombeo relevante, para transportar fluidos desde un lugar a
2615 otro es el piping, que considera todas las cañerías, tuberías, líneas, anclajes, soportes requeridos para
2616 dicho fin.

2617

2618 **Consideraciones energéticas del piping.**

2619 Desde el punto de vista de la energía, el piping implica un gasto energético relevante para el sistema.
2620 Una parte importante de la energía aportada al sistema será utilizada para vencer la resistencia de la
2621 línea al paso del fluido, otra será utilizada para vencer las cotas de altura del sistema y una parte será la
2622 verdaderamente útil en caudal y presión del sistema. El roce del fluido con la línea genera una pérdida
2623 en la energía cinética del fluido, la que dependerá de la viscosidad, temperatura, velocidad turbulencia
2624 del fluido en el interior de la línea, además de la longitud de la línea.

2625 Desde el punto de vista del diseño del piping se debe tener en consideración lo siguiente:

- 2626 • El trazado de las cañerías debe considerar el mínimo de singularidades posibles de modo que
2627 minimice las pérdidas de carga del sistema, es decir, el largo mínimo y el mínimo de codos,
2628 curvas, cambios de diámetros, todos los elementos anteriores son resistencias al paso del fluido.
2629 Además de lo anterior la línea ofrece una resistencia que es proporcional al largo de la misma,
2630 se debe considerar la línea como una sola singularidad al momento de diseñar el trazado.
- 2631 • Dependiendo de las condiciones climáticas se debe considerar que las cañerías sean
2632 debidamente aisladas, de esta forma se evita, por ejemplo, el congelamiento de las líneas bajo
2633 condiciones de frío, que se pierda calor en el fluido transportado, que se transfiera calor al
2634 fluido transportado, otros, lo que implica una pérdida energética que puede ser relevante para
2635 el proceso.
- 2636 • El material de las cañerías debe estar de acuerdo con las condiciones de diseño (materiales)
2637 relacionada con el fluido que se transporta por ellas ya que una mala elección del material
2638 implicará un deterioro temprano de las cañerías, con el consiguiente gasto no planificado e
2639 indisponibilidad de los sistemas afectados.

2640 Se sugiere una inspección periódica de las cañerías y dependiendo de su relevancia, un plan de
2641 mediciones de espesor mediante ensayos no destructivos (END), con esto se puede tener un mayor
2642 control del estado de las cañerías y programar tempranamente su intervención, si se requiere.

2643 Se recomienda una inspección periódica de las instalaciones en busca de posibles puntos de fugas en las
2644 líneas, estas fugas representan un funcionamiento no óptimo desde el punto de vista energético, ya sea
2645 porque se está perdiendo capacidad de transporte debido al contenido que se está perdiendo por el
2646 punto de fuga, como por un posible mayor consumo de energía primaria (normalmente eléctrica) para
2647 compensar las pérdidas. La frecuencia de la inspección dependerá del contexto operacional del sistema,
2648 condiciones medioambientales, tipo de fluido, corrosividad, criticidad para el proceso, otros.

2649 Además, se recomienda realizar una auditoría al piping, al menos una vez en su ciclo de vida, para
2650 validar que el tendido no genera pérdidas de eficiencia que redundan en el mayor consumo de energía
2651 para compensar las pérdidas por exceso de singularidades del tendido.

2652 10.2.5 INSTRUMENTACIÓN

2653 La instrumentación del piping está considerada para realizar el trabajo de medición y control de la
2654 instalación.

2655 Para los instrumentos debe considerarse:

- 2656 • Un plan de inspección periódico para ver el estado de la instalación.
- 2657 • Una rutina de aseo y limpieza de la instrumentación.
- 2658 • Para mediciones de flujo, al utilizar equipos de medición que forman parte de la cañería, se
2659 requiere un plan de revisión del interior del tubo para verificar, limpiar y mantener
2660 permanentemente despejados los electrodos.
- 2661 • Una rutina de revisión, calibración, certificación, si procede, ya que es fundamental que exista
2662 una alta confiabilidad del dato que está entregando el instrumento porque muchas veces es el
2663 que se utiliza para validar ya sea la cantidad y la calidad del producto que circula por las líneas y
2664 también se utiliza como parámetro para verificar el óptimo comportamiento energético de la
2665 instalación.

2666 10.2.6 ESTRUCTURAS

2667 Las estructuras son parte fundamental de una instalación industrial ya que son las que soportan a los
2668 equipos del proceso y muchas veces son la forma que tienen los operadores y mantenedores para
2669 acceder a los puntos de operación y/o mantenimiento, la recomendación es mantener debidamente
2670 limpia y aseadas las estructuras, con las pinturas de acuerdo a lo estipulado para la aplicación y realizar
2671 mediciones de espesores u otro tipo de ensayos no destructivos (por ejemplo para las uniones soldadas),
2672 en un plan de mantenimiento preventivo.

2673 En general las estructuras no impactan en la eficiencia energética.

2674 **Válvulas Manuales y Automáticas.**

2675 Las válvulas son elementos de control de flujos por una cañería, normalmente las válvulas manuales son
2676 para asegurar el corte o el paso del fluido por las líneas, para ello se deben cerrar o abrir en su totalidad,
2677 en cambio las válvulas de control o automáticas, se utilizan para realizar el control del flujo que se
2678 transporta por las cañerías.

2679 Desde el punto de vista del mantenimiento, las válvulas son elementos mecánicos que requieren un plan
2680 de mantenimiento que considere el retiro de estas del proceso para su revisión, limpieza, pruebas de
2681 accionamiento y otros, en un plan predictivo de mantenimiento y un plan de inspección y mantención
2682 exterior de los mecanismos de las válvulas.

2683 **Consideraciones energéticas de las válvulas.**

2684 Desde el punto de vista energético las válvulas constituyen una singularidad con una alta pérdida de
2685 carga, por lo que su utilización para control de flujo no es muy eficiente en el uso de la energía. Para
2686 control de flujo se recomienda modular la operación mediante bombas en paralelo o con variadores de
2687 frecuencia que haga que las bombas entreguen un caudal variable.

2688 En general las válvulas por si solas no impactan en el estado de la optimización de la eficiencia
2689 energética, pero cuando son mal usadas en la industria sí pueden generar puntos de trabajo no óptimos.
2690 Por ejemplo, en un proceso, el operador mantiene una válvula manual abierta un 50% y con ello puede
2691 controlar el proceso en mejor forma, pero esto lleva a que el sistema aumente sus pérdidas de carga, en
2692 este caso se recomienda revisar el diseño de la línea de producción y modificar el tamaño de la
2693 instalación de bombeo.

2694

CONSULTA PÚBLICA

2695 10.3 CALDERAS

2696 Una caldera corresponde a un sistema o conjunto de dispositivos dedicados al aporte de energía en
 2697 forma de calor a un volumen de agua u otro fluido con el objetivo de elevar su temperatura o cambiar
 2698 su fase (líquido a vapor), es decir es un equipo, que como lo hemos indicado anteriormente, que
 2699 permite el cambio de un tipo de energía de entrada en otro tipo de energía de salida.

2700 Una estructura típica para una caldera se muestra en la Figura10.3.1.



Figura10.3.1: Caldera de Condensación

2703 Se definen los siguientes equipos asociados a calderas, según lo definido en el artículo N°2 del Decreto
 2704 Supremo 10 Reglamento de Calderas, Autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua, promulgado en
 2705 2012:

- 2706 • **Autoclave:** Recipiente metálico, diseñado para el tratamiento de materiales con vapor de agua a
 2707 presión manométrica igual o superior a $0,5 \text{ kg/cm}^2$.
- 2708 • **Caldera:** Unidad principal diseñada para generar agua caliente, calentar un fluido térmico o para
 2709 generar vapor de agua, mediante la acción del calor.
- 2710 • **Caldera de calefacción:** Calderas de vapor de agua, cuya presión manométrica máxima de
 2711 diseño no excede los $0,5 \text{ kg/cm}^2$ y calderas diseñadas para generar agua caliente cuyo uso es de
 2712 calefacción o uso sanitario.
- 2713 • **Caldera de fluidos térmicos:** Caldera que utiliza un fluido distinto al agua, destinado a la
 2714 transferencia de calor, en fase líquida a altas temperaturas y que fluye por un circuito cerrado.
- 2715 • **Caldera de vapor:** Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión manométrica
 2716 máxima de trabajo es igual o superior a $0,5 \text{ kg/cm}^2$.

- 2717 • **Caldera de vapor de baja presión:** Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión
2718 manométrica máxima de trabajo no exceda de $3,5 \text{ kg/cm}^2$.
- 2719 • **Caldera de vapor de mediana presión:** Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya
2720 presión manométrica máxima de trabajo es igual o mayor a $3,5 \text{ kg/cm}^2$ e inferior a 15 kg/cm^2 .
- 2721 • **Caldera de vapor de alta presión:** Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión
2722 manométrica máxima de trabajo es igual o mayor a 15 kg/cm^2 e inferior a 42 kg/cm^2 .
- 2723 • **Caldera de vapor de gran presión:** Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión
2724 manométrica máxima de trabajo es superior a 42 kg/cm^2 .
- 2725 • **Caldera móvil:** Caldera cuyo diseño contempla la posibilidad de su desplazamiento desde un
2726 lugar a otro, siempre en función del proceso productivo.

2727 Las calderas están constituidas de manera genérica por:

2728 **Quemador:** Su función es realizar la transformación de la energía contenida en el combustible en una
2729 llama o flama y gases de combustión que realizan el aporte calórico al fluido que transita por la caldera.



2730
2731 *Figura 10.3.2: Quemador de tiro forzado*

2732 Intercambiadores de Calor Cerrado

2733 Reciben el nombre de intercambiadores de calor cerrado aquellos dispositivos en que la transferencia
2734 de calor se hace a través de fluidos que no tienen contacto directo entre sí, circulando por sistemas
2735 hidráulicos distintos. Son utilizados arreglos de tubos, placas o serpentines.

- 2736 • Intercambiador de tubos: Es un arreglo de tubos generalmente utilizados en
2737 transferencias de calor entre gases y líquidos, los puede haber de dos tipos:
 - 2738 • Piro-tubular o Ignitubular: los gases de combustión circulan por el interior de tubos y
2739 el agua a calentar circula por el exterior de los tubos
 - 2740 • Acuotubular: El fluido caliente circula por el exterior de los tubos, mientras que el
2741 agua a calentar circula por el interior de los tubos.



Figura 10.3.3: Intercambiador de Calor de Tubos Acuotubular

Intercambiador de Placas

Son arreglos de placas por los que los fluidos circulan por placas metálicas paralelas que generan recintos contiguos en los que los fluidos transitan intercaladamente. Se utilizan para intercambio de calor generalmente entre líquidos. Agua - Agua; Aceite – Agua. También son utilizados como dispositivos de condensación, es decir uno de los fluidos entra en fase vapor y al transferir calor se condensa y sale en fase líquido.



Figura 10.3.4: Intercambiador de Placas

Radiadores: Son dispositivos de transferencia de calor en los que uno de los fluidos, circula por un arreglo de tubos, serpentines, aletas u otro, que entrega calor al aire. Existen dos tipos de estos intercambiadores: de flujo forzado y de convección natural.

2755 a.- De flujo forzado: en estos dispositivos el aire es forzado a cruzar el área de transferencia de calor
 2756 forzado por un ventilador, soplador u otro dispositivo electromecánico. El principio de funcionamiento
 2757 es generar turbulencia en el flujo de aire, favoreciendo la transferencia de calor y aumentando el
 2758 volumen de aire en contacto con el intercambiador.



Figura 10.3.5: Radiador de Flujo Forzado

2761 **Ablandador:** es un dispositivo compuesto, generalmente, por un conjunto de bombas y filtros que
 2762 tienen por objetivo disminuir el contenido de minerales y otras impurezas en el agua de alimentación a
 2763 la caldera para disminuir las incrustaciones o sarro en las áreas de transferencia de calor en el
 2764 intercambiador de calor.

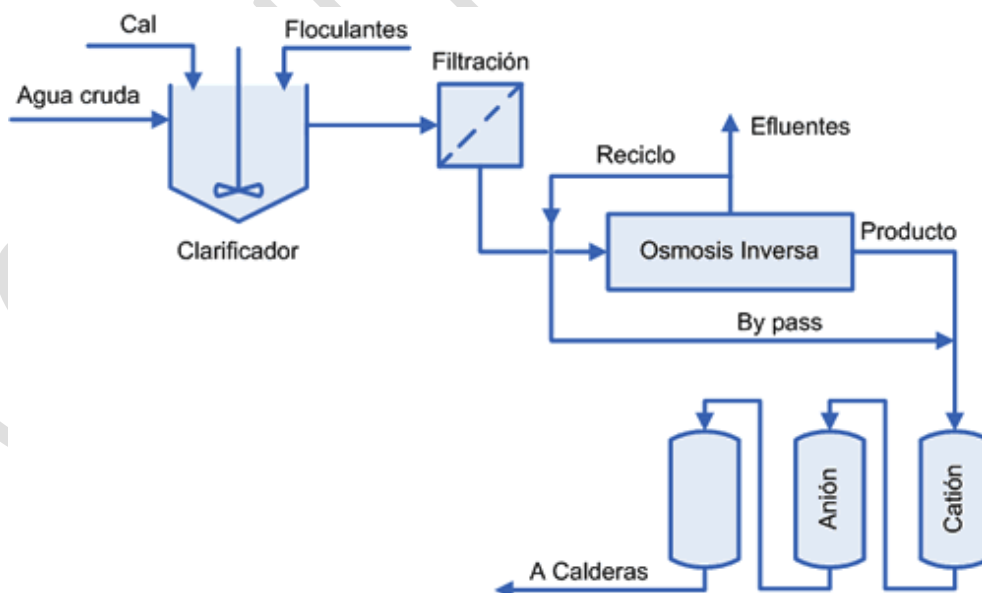


Figura 10.3.6: Esquema básico de un sistema de ablandamiento de agua mediante osmosis inversa

2768 **Economizador:** es un intercambiador de calor que aprovecha los gases de escape de las chimeneas para
 2769 realizar un precalentamiento del fluido antes del ingreso al intercambiador de calor de la caldera.

2770 **Sistema de control:** El sistema de control consiste en un conjunto de sensores de temperatura, presión,
 2771 caudal, nivel cuya función es mantener bajo control los parámetros operacionales de las calderas.

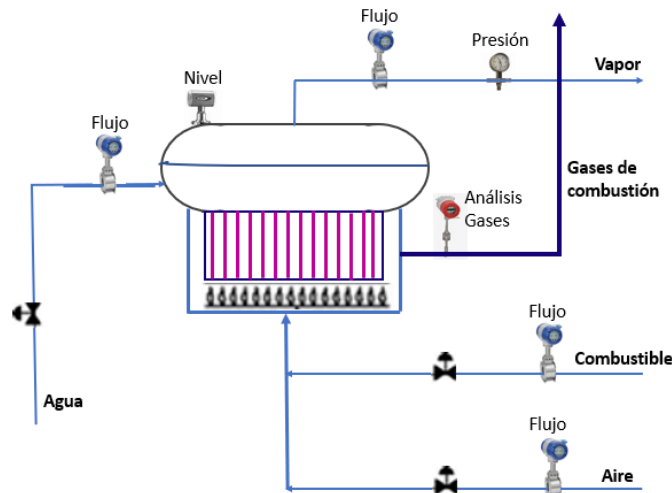
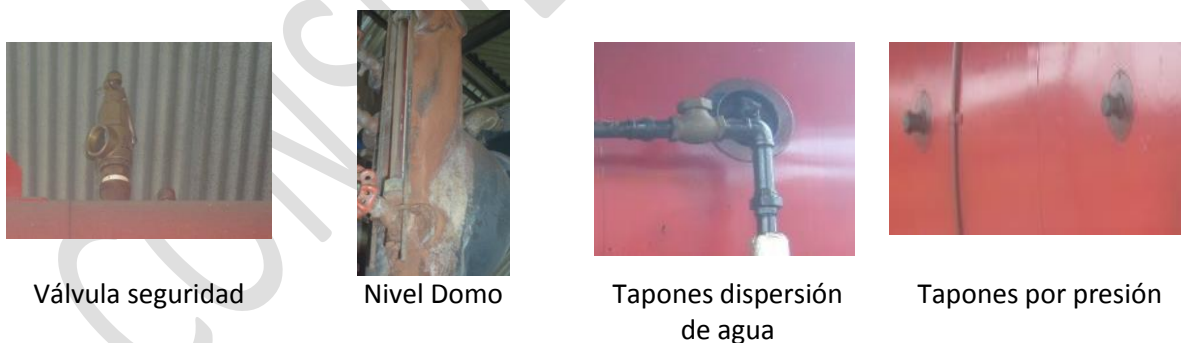


Figura 10.3.7: Instrumentación esquema de control caldera

2775 **Dispositivos de seguridad:** la operación de las calderas constituye riesgos inherentes a un dispositivo de
 2776 transformación de energías. Dentro de estos se encuentran las válvulas de seguridad cuya función
 2777 principal es mantener controlada la presión al interior de la caldera.



Válvula seguridad

Nivel Domo

Tapones dispersión
de agua

Tapones por presión

Figura 10.3.8: Ejemplos de dispositivos de seguridad

2780 **Trampa de Vapor:** Las trampas para vapor tienen como función evacuar el condensado del circuito, no
 2781 permitir el escape del vapor y evacuar el aire del sistema.

2782 La situación más crítica se produce cuando el sistema de vapor se interrumpe o apaga, aire ingresa en
 2783 las tuberías para ocupar el espacio del vapor, además el vapor contenido en la línea se condensa. Las
 2784 trampas de vapor deben desalojar ese aire y condensado en el momento de arranque de estos sistemas.



Figura 10.3.9: Esquema de Trampas de Vapor

Tipos de Calderas

Las calderas son intercambiadores de calor, por ello se pueden tipificar:

a. Según su configuración:

Pirotubulares: si los gases de la combustión transitan por el interior de tubos mientras que el fluido al cual se requiere cambiar la temperatura transita por el exterior de esos tubos.



Figura 10.3.10: Caldera Pirotubular

Acuotubulares: si el fluido al que se requiere cambiar la temperatura es el que transita por tubos mientras que los gases de combustión transitan por el exterior de estos.

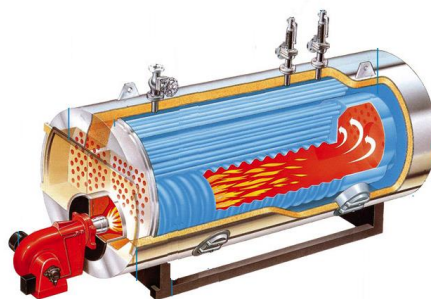


Figura 10.3.11: Caldera Acuotubular

b. Según su función:

Caldera de agua caliente: en este caso se requiere realizar un alza en la temperatura del agua que transita por el interior de la caldera, sin llegar al cambio de fase, es decir, no se requiere la transformación de líquido a vapor.



Figura 10.3.12: Caldera Agua Caliente

Caldera de vapor: son dispositivos complejos, cuya función es transformar el agua de fase líquida a fase de vapor a alta presión.

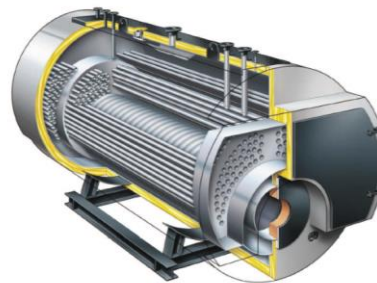
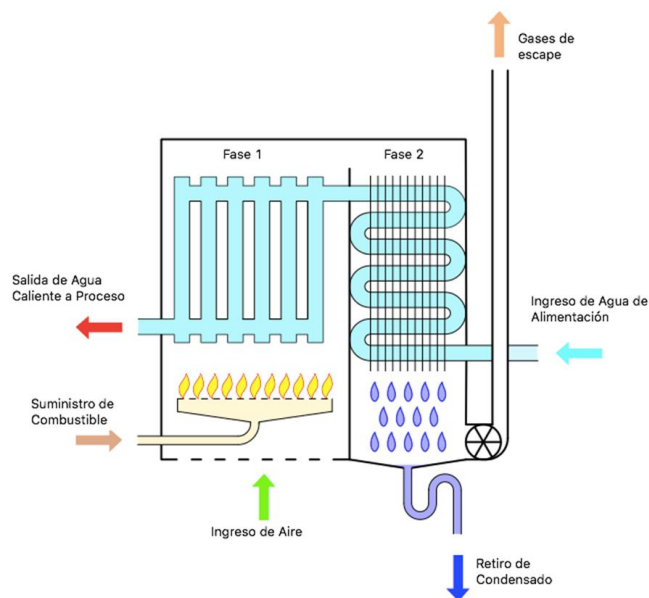


Figura 10.3.13: Caldera de Vapor

Calderas de Condensación: Las calderas de condensación son sistemas muy eficientes para el calentamiento de fluidos, especialmente agua. Se trata de sistemas que utilizan los gases provenientes de la combustión para elevar la temperatura como todas las calderas en una primera fase, para luego, en una segunda fase, utilizar la condensación del vapor de agua contenido en los gases de combustión. De esta manera se aprovecha de mejor manera el poder calorífico de los combustibles.

Además del intercambiador de calor primario, que es similar al de todas las calderas de calentamiento de agua en la fase 1, posee un intercambiador de calor secundario, que es un condensador que aprovecha el calor contenido en el vapor de agua de los gases de la combustión en la fase 2. De esta manera, al condensar estos vapores captura el calor y lo traspasa al agua para elevar su temperatura. Con este sistema se logran rendimientos muy superiores a los de las calderas convencionales, incluso en primeras etapas de implementación de estos sistemas se encontraba que tenían rendimientos superiores al 100%, si se toma como base el poder calorífico inferior de los combustibles. En la

2824 actualidad el rendimiento de estos sistemas tiene como base el poder calorífico superior de los
 2825 combustibles, aun así, se logra rendimientos de entre el 96 y 98% a potencia máxima.



2826
 2827 *Figura 10.3.14: Esquema de una caldera de condensación*

2828
 2829 Existen muchos otros tipos de clasificación en la literatura, ya por el tipo de combustible: Diésel, gas,
 2830 carbón; tipo de energía: solar, eléctrica, fósil; por las veces que pasan los gases por el interior de la
 2831 caldera: 1 paso, 2 pasos, 3 pasos.

2832 2833 **10.3.1 GESTIÓN DE OPERACIONES DE CALDERAS**

2834 La operación de un sistema de calderas puede describirse considerando el esquema de equipamiento
 2835 indicado en la figura 10.3.15.

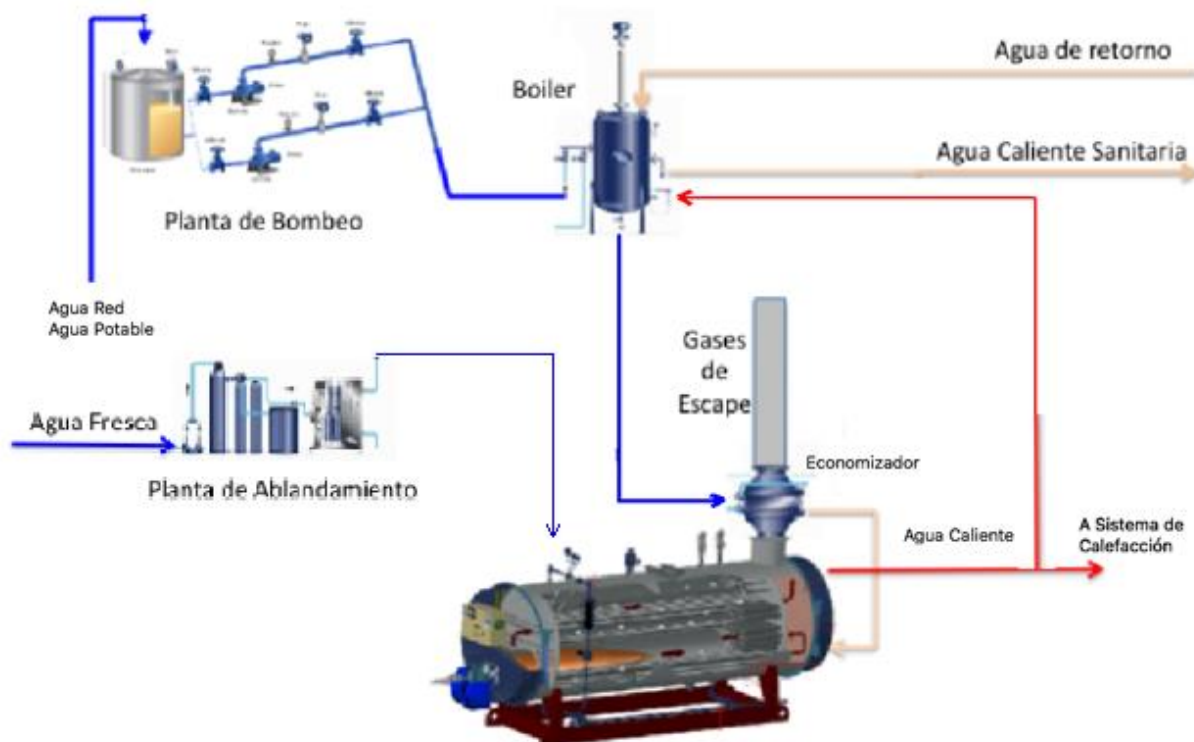


Figura 10.3.15: Esquema de Planta de Vapor y Agua Caliente

La normativa vigente exige que la operación de calderas, en cualquiera de sus formas, debe estar a cargo de operadores certificados y autorizados por la autoridad sanitaria.

La operación de calderas es considerada una de las actividades más complejas de realizar, razón por la cual, normalmente, son los sistemas de control automático los que realizan la mayor parte de la operación, el operador de la caldera sólo se remite a controlar los parámetros de funcionamiento, con un entrenamiento adecuado para esta función. Sin embargo, la función del operador es relevante al momento de las puestas en servicio y las detenciones de estos sistemas.

La normativa exige que los operadores realicen inspecciones a la entrada del turno a todos los dispositivos de un sistema de calderas.

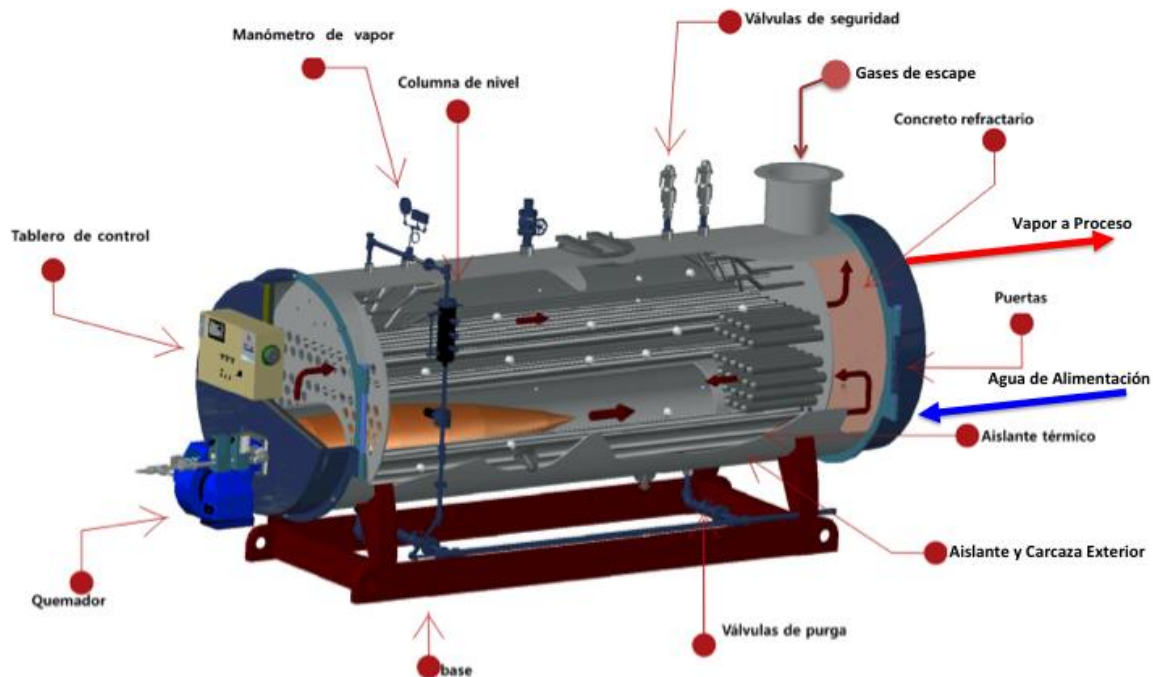


Figura 10.3.16: Caldera de Vapor: Aspectos Principales

Para la operación eficiente de una caldera es necesario mantener los parámetros operacionales controlados, tales como:

1. Caudal de agua a la entrada.
2. Caudal de agua o vapor a la salida.
3. Temperaturas de agua a la entrada.
4. Temperatura del agua o vapor a la salida, según corresponda.
5. Presión de Trabajo.
6. Saturación de vapor.
7. Flujo de aire al ventilador de tiro forzado.
8. Caudal de combustible.

Además, de otros aspectos que se presentan a continuación:

Aspectos estructurales:

- a. **Base:** Se debe encontrar correctamente anclada al piso, sin signos de soltura o corrosión.
- b. **Aislante y Carcasa Exterior:** No debe haber signos de fuga o pérdida de calor.
- c. **Piping:** El conjunto de cañerías debe estar montado de tal manera que no origine tensiones sobre la carcasa de la estructura de la caldera.

- d. **Instrumentación:** Los instrumentos deben estar correctamente montados, permitir fácil visualización y manipulación y las válvulas de seguridad deben estar completamente operativas, sin obstrucciones.

Las calderas de vapor deben disponer de los siguientes accesorios:

Accesorios de observación: Dos indicadores de nivel de agua independientes entre sí, uno o más manómetros y un medidor de temperatura de salida de gases.

Accesorios de seguridad: Válvula de seguridad, sistema de alarma audible y visible, sellos o compuertas para alivio de sobrepresión en el hogar y tapón fusible. En caso de utilizar otro dispositivo de seguridad alternativo, éste deberá tener una justificación técnica.

Accesorios de control automático: Uno o más controladores de nivel de agua, uno o más detectores de llama, uno o más presostatos con diferencial ajustable o digital.

Aspectos Operacionales

- **Agua de Alimentación:** El agua de alimentación debe ser controlada en caudal, presión y temperatura de acuerdo a los parámetros de diseño de la caldera. Para el control del agua, esta debe tener las siguientes características:
 - Su turbiedad no debe exceder las 10 NTU (Nephelometric Turbidity Unit o Unidad de turbiedad nefelométrica, medida con un nefelómetro).
 - La dureza total del agua no deberá exceder de 10 partes por millón (10 ppm), expresado como carbonato de calcio (Ca CO₃).
 - El pH debe ser entre 7 a 11.
 - La conductividad del agua no puede exceder a 7000 mS/cm.
- **Indicadores de nivel de agua:** La caldera de vapor deberá estar provista de, a lo menos, dos indicadores de nivel de agua, independientes entre sí.
- **Manómetro:** La caldera de vapor debe tener instalado uno o más manómetros conectados directamente al cuerpo de presión y que midan la presión efectiva en su interior.
- **Válvulas de seguridad:** Toda válvula de seguridad, debe estar conectada directamente a la cámara de vapor, independiente de toda otra conexión o toma de vapor y sin interrupción de ninguna otra válvula, llave, grifo u obstrucción.
- **Tapón Fusible Térmico:** Las calderas de vapor con volúmenes de agua superiores a 150 litros por metro cuadrado de superficie de calefacción, de combustible sólido y de hogar interno, deben contar con tapón fusible que actuará, cada vez que baje el nivel mínimo de agua de la caldera de vapor, salvo que su diseño contemple otro sistema que cumpla esta función.
- **Sistema de alarma:** Las calderas de vapor deben disponer de un sistema de alarma, acústica y visual, que funcione automáticamente cuando el nivel del agua alcance el mínimo o el máximo deteniendo, a la vez, el funcionamiento del sistema de combustión cuando se alcance el nivel mínimo de agua.

- Puertas de explosión:** Las calderas de vapor que usen combustibles líquidos o gaseosos, deben disponer de una o más compuertas para alivio de sobrepresión en el hogar, salvo aquellas que posean sistemas de seguridad automatizados para evitar la sobrepresión.
- Control Automático del Nivel de Agua:** Las calderas de vapor deben estar provista de, a lo menos, un control automático de nivel de agua.
- Detector de llama:** Las calderas de vapor que usen combustibles líquidos o gaseosos, deben disponer de uno o más detectores de llama, los que pueden ser por conducción eléctrica, ionización de la mezcla, generación de calor, por luz visible o bien por detección infrarrojo u otro.
- Presostato:** La caldera debe estar provista de uno o más presostatos de tipo diferencial ajustable o digital, calibrados y certificados regularmente.
- Control de gases de escape:** Las calderas deben contar con un sistema de control de los gases de escape que permita registrar la temperatura y la cantidad de O₂, el CO₂ y el CO.

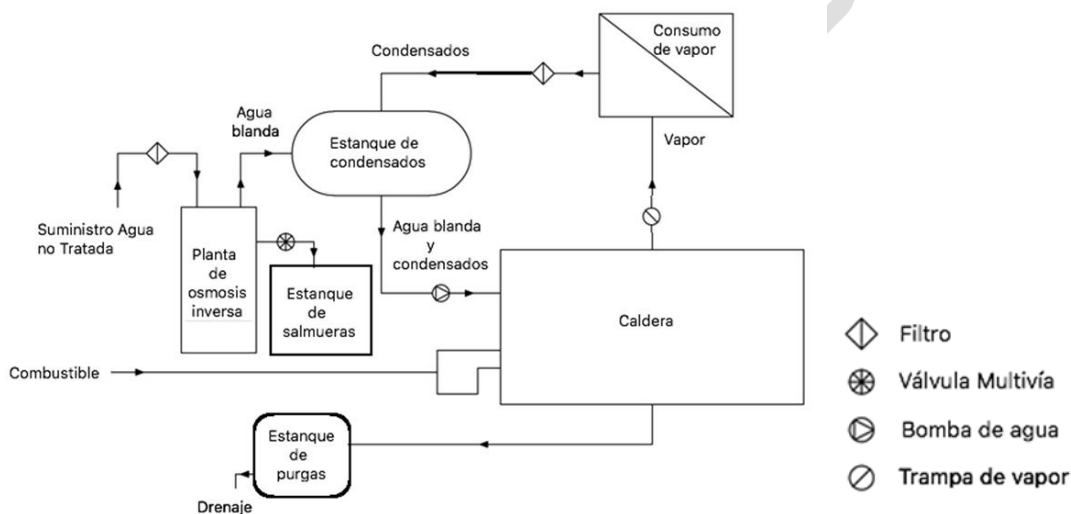


Figura 10.3.17: Diagrama de Circuito de Vapor

En la figura 10.3.17 se muestra un esquema de un circuito típico de vapor en donde se observan los principales componentes del sistema y su conexión como los suministros de combustible y agua a la caldera y la trampa de condensados que evita que el agua en fase líquida llegue a los dispositivos de vapor retornando el condensado al circuito de suministro de agua a la caldera.

10.3.2 EFICIENCIA DE CALDERAS

Las transformaciones de energía en una caldera vienen dadas de la siguiente manera:

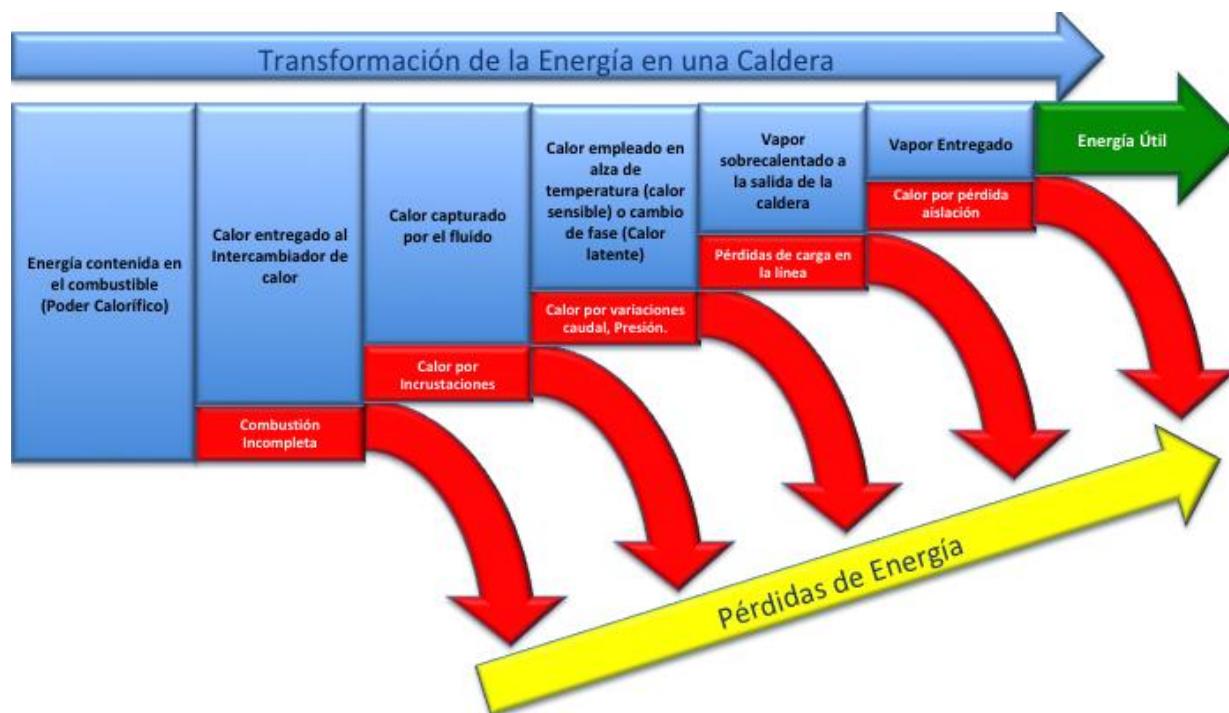


Figura 10.3.18: Transformación de la energía en una caldera de vapor

Fuente: Elaboración propia

La energía contenida en el combustible es llamada “poder calorífico” y es característico de cada combustible. Esta es la energía que entrega el combustible en forma de calor al quemarse. La determinación del poder calorífico para cada combustible se hace en pruebas estandarizadas de laboratorio. El balance de masas entre el aire y el combustible en la combustión es relevante, un desequilibrio provoca efectos de combustión incompleta haciendo que parte de la energía se vaya con los gases de escape.

El calor emitido por el combustible en el hogar de la caldera, es transferido al intercambiador de calor, quien lo captura en su superficie. El material del intercambiador actúa como un conductor de calor. El potencial de transferencia de calor viene dado por la temperatura, por lo tanto, el calor será conducido desde las zonas de mayor temperatura hacia las zonas de menor temperatura, a través del material del intercambiador de calor. Si no hay diferencia de temperatura, no hay transferencia de calor.

La transferencia de calor desde el intercambiador de calor hacia el fluido se hace por contacto directo, la existencia de depósitos calcáreos o incrustaciones en la superficie de transferencia de calor dificulta la transferencia bajando la eficiencia del sistema.

Una parte de la energía captada por el fluido es utilizada para elevar la temperatura de fluido, llamada calor sensible, otra es utilizada para cambio de fase, de líquido a vapor, llamada calor latente. Esta etapa

es muy sensible a las condiciones termodinámicas del fluido, como lo son la presión, temperatura, caudal. Por ello, es necesario controlar estas variables continuamente de manera de mantener la eficiencia en el sistema.

El calor contenido por el fluido, ya en forma de vapor sobrecalentado constituye una fuente muy eficiente de energía. Sin embargo, hay que mantener consideraciones muy estrictas en la línea de vapor en cuanto a su aislación. Las pérdidas de calor por fallas en la aislación constituyen una pérdida significativa en la eficiencia energética de estos sistemas.

Para el caso de calderas de agua caliente se debe tener las mismas consideraciones que una de vapor, en cuanto a transformaciones de energía, salvo la etapa de calor latente que no está presente en estas calderas.

El rendimiento o eficiencia en las calderas viene determinado por la cantidad de energía calórica que entrega el combustible quemado y la cantidad de energía atrapada por el fluido que se requiere calentar.

$$\text{Rendimiento o eficiencia} = \frac{\text{calor capturado por el fluido}}{\text{calor entregado por el combustible}}$$

10.3.2.1 Calor entregado por el combustible.

La energía o calor que entrega el combustible está dada por el poder calorífico del combustible, que es determinado en pruebas empíricas de laboratorio. Es una característica de cada combustible, a continuación, se entrega una tabla de poder calorífico asociado a los combustibles más usados en las aplicaciones de calderas.

a. Combustibles sólidos

Tipo Combustible	Poder calorífico Superior (kJ/kg)	Poder calorífico inferior (kJ/kg)
Carbón bituminoso (ENACAR)	29300	27200
Turba (Europa)	-	18800
Carbón bituminoso (Europa)	24700	20900
Carbón metalúrgico (Europa)	29500	24300

Tabla 10.3.1: Poder Calorífico Combustibles Sólidos

2970 b. Combustibles Líquidos

Tipo Combustible	Peso Especifico (kg/dm ³)	Poder calorifico Superior (kJ/kg)	Poder calorifico inferior (kJ/kg)
Combustible N°6 (F.O. N° 6)	0,973	43970	39780
Combustible N°5 (F.O. N° 5)	0,958	43970	41460
Combustible Diesel	0,845	45640	42700
Parafina (Kerosene)	0,8	46482	43340
Gasolina	0,705 - 0,770	-	43550
Metanol (CH ₃ OH)	0,795	-	18840
Etanol (CH ₃ CH ₂ OH)	0,795	-	27430

2971

2972 *Tabla 10.3.2: Poder Calorífico Combustibles Líquidos*

2973

2974 c. Combustibles gaseosos

Tipo Combustible	A 0°C y 760 mmHg	
	Poder calorifico Superior (kJ/kg)	Poder calorifico inferior (kJ/kg)
Gas natural Magallanes (seco)	-	37271
Gas licuado (Propano - Butano)	-	92131
Gas por cañería Valparaíso y Concepción.	-	16751
Gas por cañería Santiago.	-	18431
Acetileno (C ₂ H ₂)	54440	52551
Metano (CH ₄)	37270	33501
Propano (C ₃ H ₈)	92130	84701
Butano (C ₄ H ₁₀)	119760	110550

2975

2976 *Tabla 10.3.2: Poder Calorífico Combustibles Gaseosos*

2977 10.3.2.2 Calor o Energía Capturada por el Fluido:

2978 El calor o energía capturada por el fluido es determinada indirectamente al observar las temperaturas
2979 de entrada y salida del fluido en la caldera y la fase en la que sale (Líquido, vapor saturado o vapor
2980 sobrecalentado).

2981 Para efectos prácticos de esta guía cualquier baja en la temperatura de salida del fluido o cualquier alza
2982 en el consumo de combustible, para entregar el fluido a la misma temperatura, implicará una pérdida de
2983 eficiencia en la caldera.

2984 En la medida que las calderas entreguen las mismas condiciones de fluido en temperatura, presión o
2985 caudal a un menor consumo de combustible hablaremos de una caldera más eficiente.

2986 **Fundamento Termodinámico:**

2987 Para entender como son los procesos de transformación de la energía en una caldera se deben estudiar
2988 algunos conceptos termodinámicos.

2989 Tomando el “Principio de la Conservación de la Energía”, el cual postula que toda la energía que entra es
2990 igual a toda la energía que sale se puede decir que en una caldera se tiene:

2991

$$\text{Calor entrante} = \text{Calor saliente}$$

2992

2993 El calor entrante es el calor aportado por el combustible producto de la combustión

2994 El calor saliente se distribuye en dos fenómenos:

- 2995 • Calor capturado por el agua
- 2996 • Calor contenido en los gases de escape por la chimenea

2997

2998 Finalmente, se tiene que:

2999

$$\text{Calor entrante} = \text{Calor Capturado por el agua} + \text{Calor Gases de Escape}$$

3000

3001 Ahora el **Calor entrante** es el calor obtenido como producto de la combustión y está dado por:

3002

$$Q_{comb} = \dot{m} * PC$$

3003 Donde:

3004 Q_{comb} = Calor aportado por el combustible.

3005 $\dot{m}$ = Flujo másico del combustible.

3006 PC = Poder Calorífico del combustible.

3007

3008 La energía capturada por el agua, en forma de calor, genera en ella dos procesos termodinámicos,
3009 claramente definidos denominados “calor sensible” y “calor latente”. Cuando se aporta calor al agua en
3010 fase líquida, ésta elevará su temperatura hasta el punto de ebullición, este es el proceso de “calor
3011 sensible”. Cuando el agua entre en ebullición ya no aumentará su temperatura, entonces se observará
3012 que todo el calor capturado se utilizará en el cambio de fase de líquido a vapor, este proceso se

denomina “calor latente”. Una vez que el agua se haya transformado completamente en vapor el calor aportado nuevamente provocará el aumento de la temperatura, esta vez del vapor de agua, volviendo a observarse un proceso de calor sensible.

Calor sensible:

El calor capturado por el agua a presión constante y sin cambio de fase (Calor Sensible) se representa mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{fluido} = \dot{m} * c_p * \Delta T$$

Donde:

Q_{fluido} = Calor absorbido por el fluido

$\dot{m}$ = Flujo másico del fluido

ΔT = temperatura de salida – temperatura de entrada o $(T_2 - T_1)$

c_p = calor específico, para el agua es 4,186 julios/gramo

Para este proceso, la eficiencia se define mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{agua} * c_p * (T_2 - T_1)}{\dot{m}_{combustible} * PC}$$

Calor Latente

El calor capturado por el agua durante el cambio de fase se denomina “**calor latente**” y para calcularlo se requiere determinar la diferencia de energía (entalpía) antes del proceso y después del proceso de cambio de fase.

Para un proceso a presión constante y temperatura constante se tiene:

$$Q_{fluido} = \dot{m}_{fluido} \Delta h = \dot{m}_{fluido} (\text{entalpía salida} - \text{entalpía entrada})$$

Donde:

Q_{fluido} = Calor absorbido por el fluido

$\dot{m}$ = Flujo másico del fluido

Δh = entalpía de salida – entalpía de entrada o $(h_2 - h_1)$

3035 Luego la ecuación de eficiencia queda:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{fluido}} * (h_2 - h_1)}{\dot{m}_{\text{combustible}} * PC}$$

3036 Los valores de entalpía h_2 y h_1 están condicionados por la presión, temperatura y saturación de vapor o
3037 título. Estos valores se obtienen de tablas termodinámicas.

3038

3039 Finalmente, la energía capturada por el fluido en una caldera de vapor viene dada en tres etapas:

3040 1.- Calor sensible en fase líquida a la entrada de la caldera.

3041 2.- Calor latente, en el cambio de fase de vapor saturado.

3042 3.- Calor sensible de vapor sobrecalentado.

3043

3044 La ecuación de eficiencia queda:

3045

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{agua}} * c_p * (T_2 - T_1) + \dot{m}_{\text{agua}} * (h_2 - h_1) + \dot{m}_{\text{agua}} * c_p * (T_3 - T_2)}{\dot{m}_{\text{combustible}} * PC}$$

3046 Donde:

3047 η = eficiencia

$\dot{m}_{\text{combustible}}$ = Flujo másico del combustible

3048 $\dot{m}_{\text{agua}}$ = Flujo másico del agua

T_1 = Temperatura de entrada del agua líquida

3049 T_2 = Temperatura de saturación del agua

3050 T_3 = Temperatura de salida de vapor sobrecalentado

3051 h_1 = Entalpía de líquido saturado

3052 h_2 = Entalpía de vapor saturado

c_p = calor específico, para el agua es 4,186 J/g

3053 PC = Poder Calorífico del combustible.

3054 10.3.2.3 Pérdida De Eficiencia En Calderas

3055 Es importante controlar los parámetros operacionales para evitar las pérdidas de eficiencia en la caldera,
3056 las cuales están dadas por los siguientes fenómenos:

3057 • **Pérdida por Exceso de Aire:**

3058 El exceso de aire para la combustión origina un desbalance en el equilibrio de masas de la mezcla
3059 aire – combustible. Un efectivo control de los gases de escape como el O₂, el CO₂ y el CO, puede
3060 minimizar los efectos de este fenómeno.

3061 • **Pérdida por los gases de la combustión.**

3062 Una temperatura elevada, por sobre los parámetros de diseño, de los gases de combustión en el
3063 escape o la chimenea, implica que parte del calor destinado al intercambio de calor al interior de la
3064 caldera, se está entregando a la atmósfera, lo que involucra una pérdida de eficiencia del proceso.
3065 Mantener controlada la temperatura de estos gases permite determinar pérdidas de eficiencia en la
3066 transferencia de calor al interior de la caldera. Las causas de este fenómeno se encuentran en dos
3067 fenómenos:

3068 ○ Incrustaciones de sarro en la superficie de transferencia de calor.

3069 ○ Por acumulación de hollín en el intercambiador.

3070 Es necesario realizar inspecciones periódicas de las áreas de transferencia de calor en las calderas,
3071 manteniendo estas superficies libres de hollín o incrustaciones.

3072 • **Pérdida de calor por Sobredimensionamiento de la caldera.**

3073 Cuando la demanda de energía de una caldera es menor a la de diseño se producen pérdidas por los
3074 efectos de partidas y paradas del sistema, lo que se denomina operación dinámica de la caldera. Lo
3075 ideal es que la caldera se encuentre la mayor parte del tiempo en su punto de operación óptimo.

3076 10.3.3 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE CALDERAS

3077 El reglamento sanitario de Calderas del Ministerio de Salud define en sus Títulos II al VII los requisitos
3078 para profesionales, combustibles, pruebas, inspecciones, periodicidad, informes técnicos y personal
3079 calificado para realizar los mantenimientos de calderas y equipos asociados.

3080 Las calderas de vapor, autoclave y equipos que utilizan vapor de agua, deben ser sometidas a las
3081 revisiones y pruebas de acuerdo a las siguientes condiciones:

3082 • Al término de la instalación y antes de ponerlas en servicio.

3083 • Al término de cualquier reparación, reforzamiento o transformación y antes de ponerlas en
3084 servicio.

3085 • A las que estén en funcionamiento, cada tres años.

3086 Estas revisiones deben contener, al menos, las siguientes actividades

- 3087 • **Inspección interna y externa.**
- 3088 • **Prueba hidrostática.**
- 3089 • **Regulación de la válvula de seguridad.**
- 3090 • **Prueba de acumulación de vapor.**
- 3091 • **Revisión de la red de distribución de vapor, componentes y accesorios.**

3092 Para obtener el detalle de cada una de las actividades indicadas más arriba, consultar el reglamento de
3093 calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor.

3094 10.3.3.1 Árbol de equipos sistemas de caldera

3095 El árbol o jerarquía de equipos de un sistema de calderas está constituido por los subsistemas de:

- 3096 • Suministro de Combustible
- 3097 • Tratamiento de agua
- 3098 • Agua Tratada
- 3099 • Caldera

3100 La jerarquía de equipos propuesta para este tipo de sistemas se muestra en la figura 10.3.18.

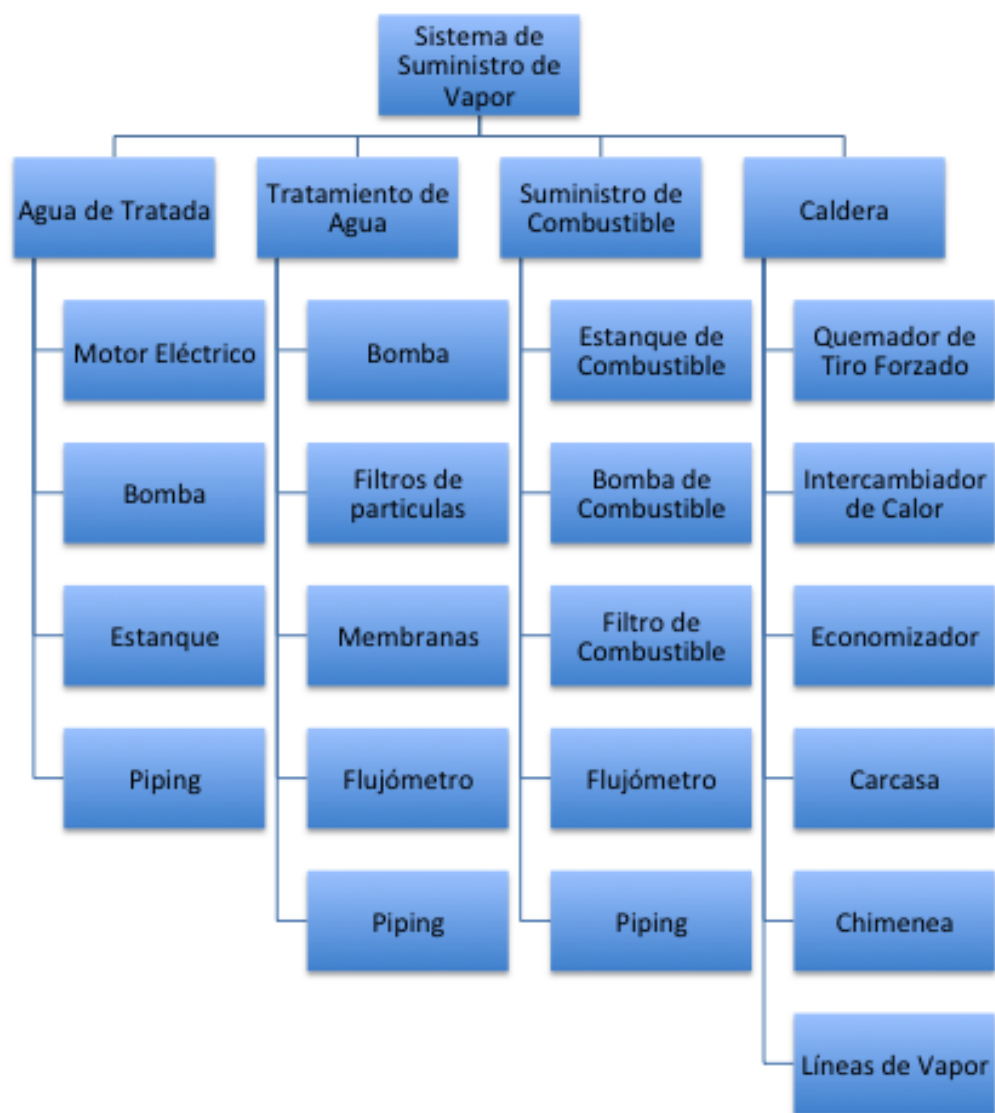


Figura 10.3.18: Árbol de equipos Calderas

3106 10.3.3.2 Catálogo de Fallas Caldera
3107

Descripción de la falla	Afecta eficiencia energética	Posible causa	Acción correctiva
1. Sistema de bombeo con ruidos	Si	1.1 Obstrucción de succión de las bombas.	1.1 Desbloquear si fuera necesario.
		1.2 Obstrucción de rodete.	1.2 Limpiar rodete de la bomba.
		1.3 Bomba fuera de rango de operación.	1.3 Verificar rango de la bomba, de acuerdo al capítulo de bombas.
2. La válvula de seguridad opera frecuentemente.	No	2.1 Baja presión de entrada.	2.1 Verificar la presión de entrada.
		2.2 Parámetros de válvula de seguridad.	2.2 Controlar parámetros de operación de la válvula de seguridad, cambiar si es necesario.
3. Temperatura de salida por debajo de lo requerido	Si	3.1 Bajo caudal de combustible.	3.1 Verificar caudal de combustible. Regular si es necesario.
		3.2 Baja eficiencia en la transferencia de calor.	3.2 Inspeccionar incrustaciones en intercambiador de calor por el lado de gases o agua.
		3.3 Agua de alimentación con exceso de minerales	3.3 Verificar parámetros de agua de alimentación, conductividad, particulado.
		3.4 Caldera subdimensionada.	3.4 Verificar parámetros de diseño de la caldera.
4. El quemador no se enciende y las bombas funcionan	No	4.1 Baja presión de agua en la entrada	4.1 Controlar que la presión del agua esté dentro de la banda de operación de la caldera.
		4.2 El presostato de agua está en falla.	4.2 Cambio de presostato.
5. Explosiones en el quemador principal	Si	5.1 Falta de alimentación de gas.	5.1 Controlar la presión del gas en el quemador principal.
		5.2 Caldera sucia.	5.2 Verificar y limpiar el cuerpo de la caldera.
		5.3 Quemador sucio.	5.3 Controlar y limpiar quemador.
6. Baja temperatura del agua en la caldera	Si	6.1 Errónea regulación del termostato.	6.1 Regularlo a una temperatura más alta.
		6.2 Consumo de gas insuficiente.	6.2 Controlar que el consumo de gas esté de acuerdo con las especificaciones de la caldera y el quemador.
7. La caldera se calienta, pero los radiadores no	Si	7.1 Bolsas de aire en la instalación.	7.1 Purgar sistema si es preciso.
		7.2 El termostato ambiente está mal regulado.	7.2 Regular Termostato.
		7.3 Termostato defectuoso.	7.3a Comprobar conexiones de termostato. 7.3b Cambio termostato.
		7.4 La bomba de circulación está bloqueada.	7.4 Desbloquear bomba.
8. Explosiones al arrancar el quemador y retardo en el encendido.	No	8.1 Llama del quemador piloto es demasiado corta.	8.1 Regular Llama.
		8.2 Cuerpo de caldera sucio.	8.2 Limpiar cuerpo de la caldera.
9. El termostato provoca el encendido con diferencias de temperaturas demasiado elevadas	Si	9.1 Termostato descalibrado.	9.1 Ajuste de termostato o cambio.
10. No hay ignición	No	10.1 Válvula solenoi de defectuosa.	10.1 Cambio válvula.
		10.2 Hay chispa pero no hay llama piloto.	10.2 Inspeccionar sensor de flujo de combustible.
11. Hay llama piloto, pero no hay llama principal	No	11.1 Llama piloto inadecuada	11.1 Falla en el sistema de detección de llama, verificar, ajustar.
		11.2 Bajo caudal de combustible	11.2 Falla en el suministro principal de combustible verificar, ajustar.
12. Falla de llama principal durante el arranque	No	12.1 Ajuste defectuoso de relación aire/combustible.	12.1 Verificar y ajustar relación de aire/combustible.
		12.2 Control de combustión descalibrado.	12.2 Verificar parámetros.

Tabla 10.3.4: Catálogo De Fallas Caldera

3110 10.3.3.3 Plan de Mantenimiento Tipo Propuesto para Calderas

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																							
Tareas	Frecuencia	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4
Chequear el quemador	Diario	2			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Revisar las boquillas	Mensual	1			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Limpiar el quemador	Cada 2 meses	2							✓								✓								✓			
Limpiar electrodos	Mensual	0.5				✓				✓				✓				✓				✓				✓		
Revisar aisladores de ignición	Mensual	2			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Revisar cables de ignición	Mensual	1			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Piloto de gas	Cada 2 meses	0.5							✓								✓								✓			
Inspección fotocelda	Mensual	1			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Inspección combustión	Semanal	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limpieza del lado del agua	Cada 2 meses	1						✓							✓									✓				
Limpieza del lado de fuego	Bi anual	2																✓										
Chequear los tubos de fuego	Trimestral	1					✓											✓										
Inspección conexiones y línea de alimentación	Trimestral	2			✓												✓											
Revisión de material refractario	Trimestral	3									✓												✓					
Cambio de empaquetaduras	Trimestral	5											✓														✓	
Revisión de tuercas y pernos	Trimestral	0.5					✓											✓										
Revisión de fugas de agua, vapor	Semanal	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Revisión de línea de alimentación eléctrica	Semanal	2			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limpiar filtros de alimentación	Semanal	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cambio correas de transmisión	Trimestral	2				✓												✓										
Alineación de bomba del motor	Bi anual	4											✓															
Inspección de bomba	Bi anual	7																					✓					
Revisión de válvulas solenoides	Bi anual	5																	✓									
Limpieza de rejilla del ventilador	Mensual	1					✓			✓				✓				✓				✓				✓		
Lubricación del motor ventilador	Mensual	1					✓				✓				✓				✓				✓				✓	
Chequeo temperatura de rodamientos	Mensual	0.5				✓				✓				✓				✓				✓				✓		
Inspección correas de transmisión	Mensual	0.5			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Revisión de vibraciones del motor ventilador	Mensual	0.5					✓				✓				✓				✓				✓				✓	
Chequeo tubo de nivel	Mensual	0.5				✓				✓				✓				✓				✓				✓		
Chequeo niveles de operación	Diario	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limpieza del flotador	Bi anual	5															✓											
Inspección diafragma del flotador	Bi anual	3					✓																					
Chequeo columna mc donell	Bi anual	7																								✓		
Revisión válvula de purga de nivel	Semanal	0.5			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Revisar terminales	Cada 2 meses	2			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limpieza de conectores	Bi anual	5																										
Revisar fusibles	Semanal	0.5																										
Limpiar el programador	Cada 2 meses	2				✓								✓								✓						
Inspeccionar el presostato	Cada 2 meses	1					✓							✓								✓						
Revisar cápsulas de mercurio	Mensual	1			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Revisar termostatos y contactores	Trimestral	1											✓												✓			
Chequeo de válvulas de seguridad	Diario	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prueba termómetros	Mensual	0.5				✓				✓				✓				✓				✓				✓		
Inspección de válvulas en general	Mensual	1					✓				✓				✓				✓					✓			✓	
Chequeo trampa de vapor del precalentador	Trimestral	2								✓													✓					
Limpieza de la chimenea	Bi anual	6					✓																					
Inspección pintura general	Bi anual	3																							✓			
Cambio de manómetros	Bi anual	7																✓										

3111

3112

Tabla 10.3.5: Plan de Mantenimiento Tipo para Calderas

3113 En el plan de mantenimiento mostrado en la tabla 10.3.5 se debe agregar el nombre del recurso, que es
3114 propio de cada empresa, ya sea el nombre de la persona encargada, la empresa de servicios que hace el
3115 servicio de forma externa, un código, o el nombre de una cuadrilla. En cuanto al costo también es propio
3116 de cada organización, porque varía en función de la industria, la localidad, el año, la divisa. Sin embargo
3117 es importante que las organizaciones asignen la totalidad de los costos por cada actividad y se actualice
3118 regularmente.

3119 El Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que utilizan vapor de agua en su artículo 73, detalla los
3120 requerimientos con los que deben contar operadores y mantenedores de acuerdo a la normativa
3121 vigente, donde se indica que las condiciones generales de instalación, revisiones y pruebas de las
3122 calderas, autoclaves, equipos que trabajan con vapor de agua y redes de distribución, deberán ser
3123 efectuadas por un profesional que cumpla los siguientes requisitos:

3124 a) Ser profesional titulado, de una carrera de 8 semestres de duración, con formación en termodinámica,
3125 transferencia de calor, mecánica de fluidos, procesos térmicos, máquinas hidráulicas, diseño y cálculo de
3126 calderas y resistencia de materiales, facultado para ejercer en el país,

3127 b) Acreditar una experiencia mínima de tres años en la fabricación, instalación, reparación,
3128 mantenimiento u operación de plantas térmicas con calderas de vapor de gran presión.

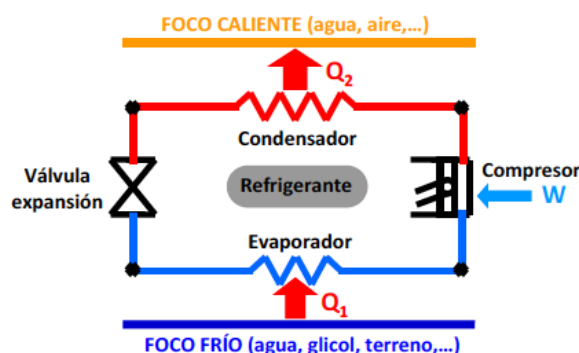
3129

3130 10.4 BOMBA DE CALOR

3131 Una bomba de calor es una máquina térmica que, operando según un ciclo, absorbe calor de un foco
 3132 frío y lo cede a un foco caliente a costa del aporte de trabajo desde el exterior. Muy parecido a un ciclo
 3133 de refrigeración. Si el sistema cuenta con un dispositivo de inversión puede también capturar calor
 3134 desde el interior y expulsarlo al exterior. Son sistemas muy eficientes para climatización de recintos.

3135 Aunque hay bombas de calor agua – agua, que extraen calor desde aguas subterráneas y la entregan a
 3136 un circuito de agua caliente para calefacción, las más usadas son las bombas de calor aire – aire.

3137 El ciclo de operación de una bomba de calor pasa por 4 procesos termodinámicos, compresión;
 3138 condensación; expansión y evaporación.



3139

3140 *Figura 10.4.1: Esquema Bomba de Calor*

3141 **Compresión:** el proceso de compresión se realiza al vapor una vez que ha pasado por el evaporador.
 3142 Este proceso también es un aporte de energía al refrigerante, se hace en forma de trabajo mediante un
 3143 compresor. Con ello se consigue un aumento adicional de la temperatura del refrigerante llevándolo a
 3144 vapor sobrecalentado manteniendo constante la entropía.

3145 **Condensación:** Este proceso se desarrolla a presión constante. Es en este proceso en donde se entrega
 3146 la energía ganada por el refrigerante en forma de calor en el evaporador y trabajo en el compresor al
 3147 medio ambiente. El refrigerante entra como vapor sobrecalentado y sale como líquido saturado.

3148 **Expansión:** En este proceso se busca bajar la presión del refrigerante en fase de líquido saturado,
 3149 manteniendo constante su energía.

3150 **Evaporación:** Este proceso es el objetivo de los sistemas frigoríficos. Acá es donde el refrigerante
 3151 captura la energía, en forma de calor, desde la cámara frigorífica. La captura de calor provoca el cambio
 3152 de fase líquido a vapor del refrigerante y este la transporta hacia el exterior de la cámara.

3153

3154 10.4.1 ENERGÍAS INVOLUCRADAS

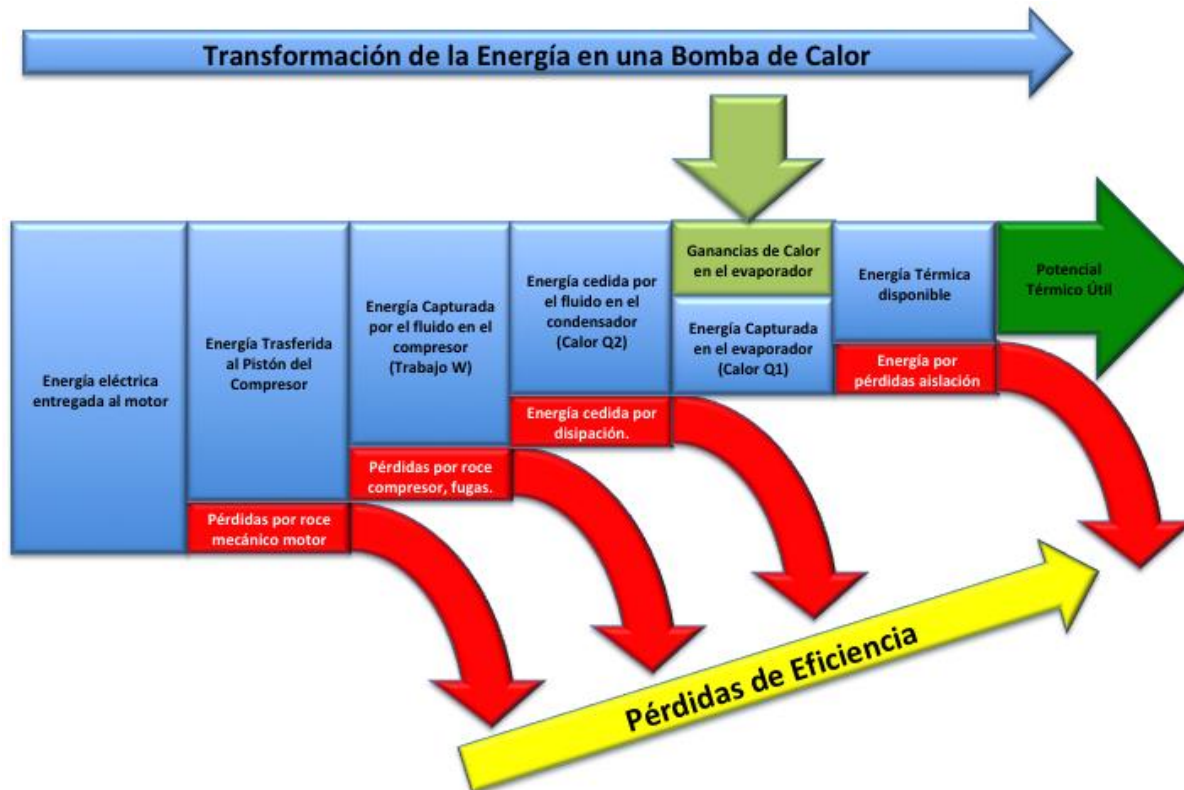


Figura 10.4.2: Transformación de la energía en una bomba de calor

Desde el punto de vista del balance de energías tenemos que realizar las siguientes transformaciones de energía:

La energía eléctrica entregada al motor eléctrico se transforma en energía mecánica en el eje del motor. Mediante un acoplamiento esta energía mecánica es transferida al eje del compresor, quien la transfiere al fluido en forma de “trabajo” (W_{entrada}). El trabajo, en este caso representa la energía transferida al fluido por el pistón del compresor, resultando en un aumento de la energía del fluido manifestándose en aumento de la presión y temperatura del fluido y en un aumento en la energía cinética, lo que provoca un desplazamiento del fluido por interior del circuito de refrigeración.

Es importante destacar que el aporte de energía eléctrica es el que hace que el sistema funcione. Sin embargo, hay que tener presente que hay otro aporte de energía en el sistema, este se hace en forma de calor (Q_L) que en modo calor se obtiene desde el exterior y en modo frío se obtiene desde el interior del recinto.

10.4.2 OPERACIÓN EN MODO CALOR

En este modo el sistema captura calor en el evaporador ubicado en el exterior y lo transfiere al interior del recinto en el condensador. Haciendo un ciclo de refrigeración.

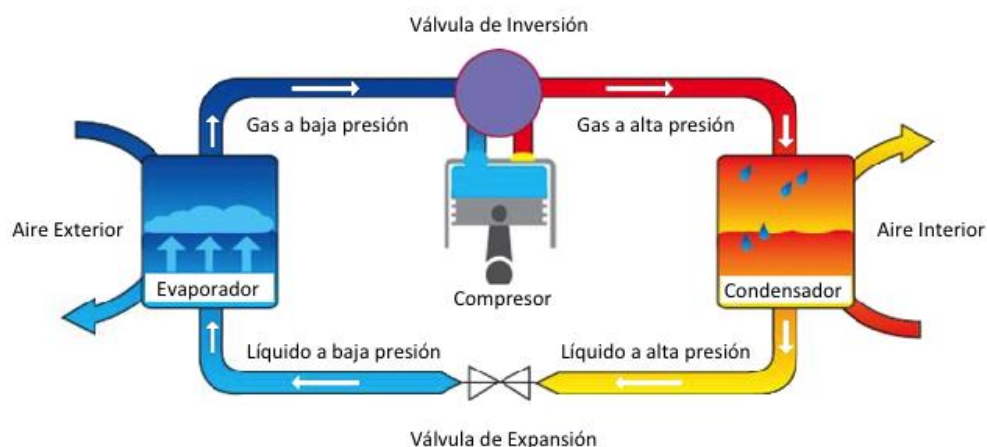


Figura 10.4.3: Operación en modo calor

10.4.3 OPERACIÓN EN MODO FRÍO

Haciendo un cambio en el dispositivo de inversión (válvula de 4 vías) el ciclo de refrigeración se invierte y el anterior condensador se vuelve el evaporador y el evaporador en condensador. En este modo el sistema captura calor desde el interior del recinto en el evaporador y lo traspasa al refrigerante, el que luego lo transfiere en el condensador al exterior.

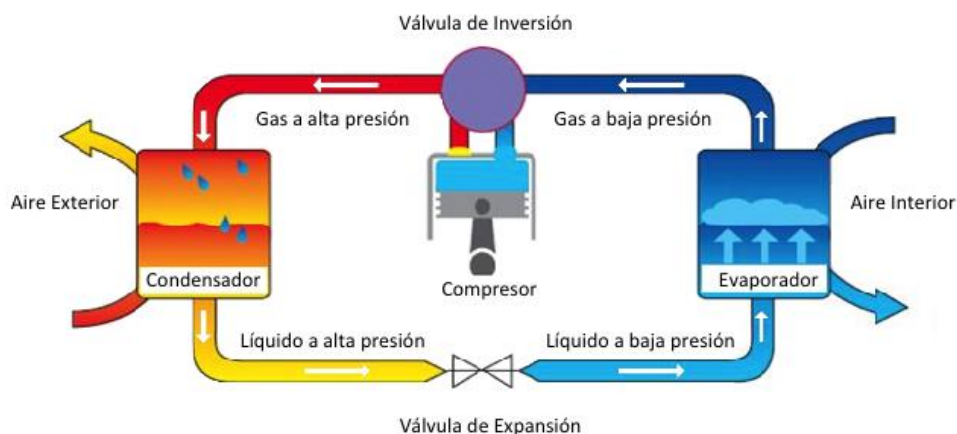


Figura 10.4.4: Operación en modo frío

3182 **10.4.4 EFICIENCIA EN BOMBAS DE CALOR**

3183 Programación de la Temperatura Interior del recinto:

3184 La temperatura al interior se puede fijar, mediante un termostato programable, lo que hará que el ciclo
3185 de refrigeración opere hasta alcanzar la temperatura programada al interior del recinto.

3186 Obstrucciones de las superficies de transferencia de calor de evaporadores y condensadores:

3187 Las superficies de transferencia de calor en serpentines y radiadores deben estar limpias. Los depósitos
3188 de polvo, calcáreos, grasas, basuras y otros actúan como aislantes térmicos, dificultando la transferencia
3189 de calor.

3190 Obstrucciones al Flujo de Aire Forzado.

3191 El flujo de aire forzado, mediante el uso de ventiladores, favorece la transferencia de calor mediante dos
3192 mecanismos. El primero es la cantidad mayor de aire en contacto con las superficies de transferencia y
3193 el segundo es generando turbulencia en el flujo. Los flujos turbulentos favorecen significativamente la
3194 transferencia de calor. Es por ello que resulta absolutamente necesario mantener en óptimas
3195 condiciones los evaporadores y condensadores para el flujo de aire.

3196 **10.4.5 GESTIÓN DE OPERACIONES DE BOMBAS DE CALOR**

3197 El operador debe controlar varios parámetros operacionales.

3198 **Presión de Refrigerante:** Aunque los sistemas cuentan en su mayoría con sistemas de control
3199 automático, en donde la presión de refrigerante es uno de esos parámetros, es necesario controlar las
3200 presiones periódicamente por la ocurrencia de fallas en los sistemas de control.

3201 **Flujos de Aire en evaporadores y Condensadores:** Dada la posibilidad de obstrucciones en los
3202 intercambiadores es importante inspeccionar los flujos en ambos dispositivos periódicamente, con el
3203 objetivo de detectar tempranamente posibles pérdidas de eficiencia en la transferencia de calor por
3204 obstrucciones en canales, rejillas, aletas, tubos, según sea el caso.

3205 **Inspecciones termográficas:** Esta es una técnica de análisis muy usada en la actualidad, con ella se
3206 puede detectar pérdidas de eficiencia en radiadores, condensadores y otros sistemas, además de
3207 obstrucciones y otras fallas.

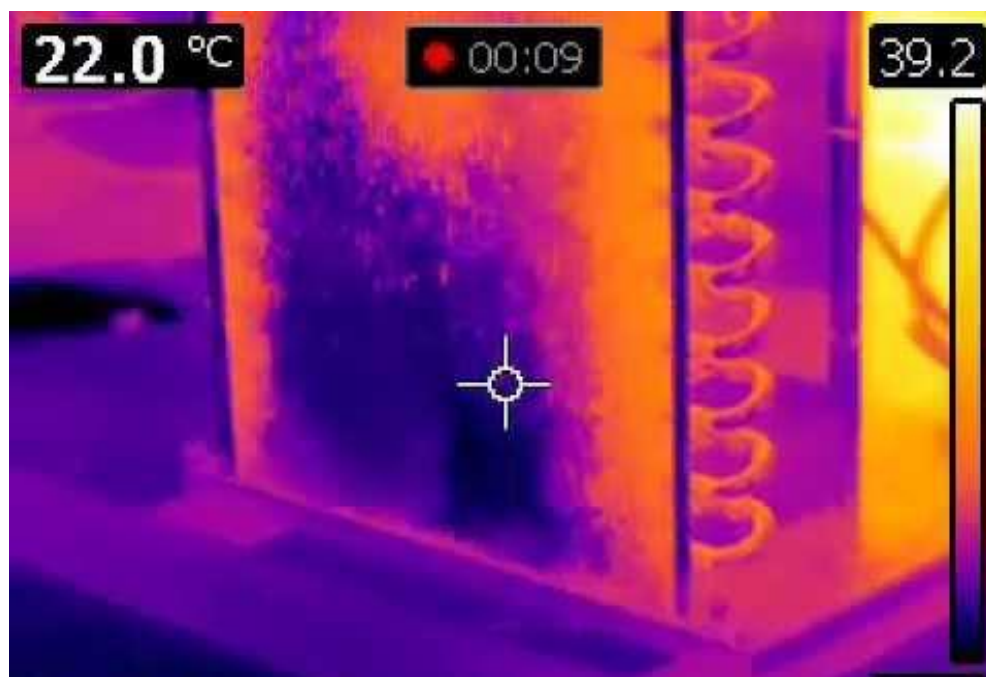


Figura 10.4.5: Imagen Termográfica de Condensador Obstruido

En la figura anterior se puede observar una imagen termográfica de un condensador con pérdida de eficiencia por obstrucciones. La imagen debiera aparecer más homogénea en los colores sin sectores más oscuros.

10.4.6 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE BOMBAS DE CALOR

La gestión de mantenimiento debe estar orientada a preservar la capacidad de captura y disipación de calor de todos los dispositivos, considerando esta función como el aporte de valor de las bombas de calor al sistema.

10.4.6.1 Árbol de Equipos para Bombas de Calor

A continuación, se muestra el árbol de equipos tipo para una bomba de calor el complemento dependerá de la aplicación específica e instalación donde se opere dicho sistema.



3221

3222

Figura 10.4.6: Árbol de equipos bomba de calor

10.4.6.2 Catálogo de Fallas

Descripción de la falla	Afecta eficiencia energética	Possible causa	Acción correctiva
1. Fluctuación de la temperatura de salida	Si	1.1 Variaciones en la presión de entrada.	1.1 Ajustar la presión de entrada, revisión de presostatos, revisión de termostatos, cambiar si es necesario.
		1.2 Obstrucciones en el condensador o evaporador.	1.2 Verificar limpieza de radiadores, paletas, superficies de transferencia de calor.
		1.3 Depósitos de calcáreos o incrustaciones en ductos.	1.3a Limpiar ductos. 1.3b Verificar eficiencia con imagen termográfica. 1.3c Reemplazar componentes.
		1.4 Fuga de refrigerante.	1.4 Verificar presiones de refrigerante, reparar o reemplazar componentes si fuera necesario.
2. Compresor no funciona	No	2.1 Falla de alimentación eléctrica.	2.1 Verificar alimentación eléctrica.
		2.2 Cable de conexión flojo.	2.2 Ajustar terminales.
		2.3 Falla de relé.	2.3 Verificar operación del relé, reemplazar si es necesario.
		2.4 Falla compresor.	2.4 Visitar capítulo de compresores de esta guía.
3. Ruidos en el compresor	Si	3.1 Fluido en fase líquida en el compresor.	3.1 Verificar temperaturas y presión de funcionamiento de refrigerante.
		3.2 Soltura interna del compresor.	3.2 Reemplazar compresor.
4. Ventilador con ruidos	No	4.1 Soltura interna en ventilador.	4.1 Retorquar pernos de sujeción del ventilador.
		4.2 Roces internos.	4.2 Verificar roces al interior del ventilador.
5. Ventilador con altas vibraciones	Si	5.1 Desbalanceo de laspas.	5.1 Verificar con análisis de vibraciones, balancear.
		5.2 Soltura interna.	5.2 Verificar con análisis de vibraciones. Reparar.
		5.3 Pérdida de elementos en laspas.	5.3 Verificar, reponer o reemplazar.
6. Obstrucción en la expansión	Si	6.1 Obstrucción por contaminantes.	6.1 Cambiar válvula, limpiar. Limpieza interna del sistema.
		6.2 Válvula bloqueada por escarcha.	6.2 Verificar presión de refrigerante. Reevaluar condiciones de operación del sistema.
7. No invierte ciclo	Si	7.1 Obstrucción de la válvula.	7.1 Verificar operación haciendo inversión de ciclo. Limpiar sistema.
		7.2 Falla solenoide de la válvula.	7.2 Verificar tensiones en solenoide, de acuerdo al manual del fabricante, reemplazar si es necesario.

Tabla 10.4.1: Catálogo de Fallas de Bomba de Calor

3230 10.4.6.3 Plan de Mantenimiento Bombas de Calor

3231

3232 A continuación se muestra el plan de mantenimiento base para una bomba de calor, el plan está
3233 desglosado en:

- 3234 • Actividades generales.
- 3235 • Ciclo de refrigeración.
- 3236 • Compresor.
- 3237 • Circuito para intercambio agua/aire.

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																								
Tareas Sistema General	Frecuenci a	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	
Retorqueo conexiones eléctricas y sustitución de cables desgastados o dañados	Trimestral	3					✓											✓											
Inspección termográfica de sistemas eléctricos	Trimestral	1				✓												✓											
Control presencia fugas en el ciclo de refrigeración	Trimestral	2							✓												✓								
Control del voltaje de alimentación	Mensual	0.5					✓			✓				✓				✓				✓				✓			
Control del voltaje de alimentación de compresores	Trimestral	1				✓												✓											
Control voltaje alimentación ventiladores	Trimestral	1						✓													✓								
Control funcionamiento resistencias antihielo de intercambiadores y/o tuberías	Trimestral	0.5						✓												✓									
Control funcionamiento electroválvulas	Trimestral	4					✓												✓										
Control funcionamiento y calibrado presostatos de mínima y máxima seguridad	Semanal	5				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Limpieza descarga válvulas de seguridad	Anual	8																						✓					
Sustitución o calibrado funcionamiento válvulas de seguridad	Cada 2 años	8																		✓									
Calibrado de sondas de presión	Trimestral	3					✓												✓										
Control o reemplazo de los filtros deshidratadores en la línea líquida	Anual	7																											
Control estado tuberías	Trimestral	3								✓													✓						
Control estado desgaste contactores compresores	Bi anual	5																								✓			
Control estado desgaste contactores ventiladores	Anual	6																											
Control estado desgaste y tensión correas de transmisión de ventiladores centrifugos	Trimestral	3					✓												✓										
Limpieza de baterías de condensación	Bi anual	2																					✓						
Control estado limpieza intercambiadores	Anual	3																	✓										
Control funcionamiento resistencias del evaporador	Bi anual	2																	✓										
Control corrosión	Anual	4													✓														
Limpieza general unidades	Mensual	2					✓			✓				✓				✓				✓				✓			

3238

3239

Tabla 10.4.2: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Actividades Generales

3240

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																											
Tareas Ciclo Refrigeración	Frecuenci a	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio							
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4				
Análisis de vibraciones en ventiladores	Trimestral	2					✓											✓														
Medición valor temperatura sobrecalentamiento	Trimestral	1					✓											✓														
Medición valor temperatura subrefrigeración	Trimestral	1					✓											✓														
Medición valor temperatura gases de escape compresor	Trimestral	2					✓											✓														
Medición valor baja presión	Trimestral	1					✓											✓														
Medición valor alta presión	Trimestral	1					✓											✓														
Medición consumo ventiladores, 3 fases	Trimestral	2					✓											✓														
Medición consumo compresores, 3 fases (L1, L2 y L3)	Trimestral	2					✓											✓														
Medición temperatura aire exterior	Trimestral	1					✓											✓														
Medición temperatura agua entrada y salida evaporador y condensador	Trimestral	3					✓											✓														
Inspección Termográfica Intercambiadores de Calor	Trimestral	1					✓											✓														

3241

3242

Tabla 10.4.3: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Ciclo de Refrigeración

3243

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																							
Tareas Compresor	Fecueci a	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4
Análisis de vibraciones compresor	Mensual	2			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Inspección termográfica	Trimestral	2				✓												✓										
Control nivel aceite	Mensual	1					✓			✓				✓				✓					✓			✓		
Control acidez aceite	Bi anual	3																			✓							
Control limpieza aceite	Bi anual	3					✓																					
Sustitución aceite	Anual	3															✓											
Control correcto funcionamiento resistencia del cárter de aceite del compresor	Trimestral	1										✓												✓				
Control rigidez dieléctrica	Anual	3																										
Control correcto funcionamiento sensor nivel aceite	Trimestral	0.5					✓											✓										

3244

3245

Tabla 10.4.4: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Compresor

3246

3247

3248

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																											
Tareas Circuito Hidráulico para Sistemas de intercambio agua aire	Frecuenci a	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio							
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4				
Control y calibrado correcto funcionamiento flujómetro evaporador y condensador/recuperador	Mensual	2					✓			✓				✓				✓				✓				✓						
Control funcionamiento presostato diferencial agua	Mensual	1					✓			✓				✓				✓				✓				✓						
Control apretado cabezas intercambiadores de haz tubular	Bi anual	6					✓																									
Control junta giratoria / juntas bomba	Trimestral	2								✓												✓										
Control concentración solución glicol	Trimestral	1					✓												✓													
Control y limpieza filtro agua entrada intercambiadores	Trimestral	4				✓												✓														

Tabla 10.4.5: Plan de Mantenimiento de Bomba de Calor. Circuito Hidráulico

En los planes de mantenimiento mostrados en las tablas 10.4.2 a 10.4.5 se debe agregar el nombre del recurso, que es propio de cada empresa, ya sea el nombre de la persona encargada, la empresa de servicios que hace el servicio de forma externa, un código, o el nombre de una cuadrilla. En cuanto al costo también es propio de cada organización, porque varía en función de la industria, la localidad, el año, la divisa. Sin embargo, es importante que las organizaciones asignen la totalidad de los costos por cada actividad y se actualice regularmente.

3258 10.5 ILUMINACIÓN INDUSTRIAL

3259 En la actualidad una gran parte del parque de luminarias de la industria está compuesta por lámparas de
3260 descarga, fluorescentes o halógenos. La tendencia que se impone en los nuevos proyectos considera la
3261 definición y uso de tecnologías led, básicamente preferidas debido a que apoyan la gestión de eficiencia
3262 energética, como se detallará más adelante.

3263 Los sistemas de iluminación son los sistemas consumidores de energía que se pueden encontrar en todo
3264 tipo de instalación industrial, dada la naturaleza de estos sistemas, presentan la posibilidad de conseguir
3265 una reducción en el consumo energético generando con ello ahorros económicos de manera sencilla,
3266 rápida y medible y estos ahorros que se pueden obtener dependen principalmente de la tecnología de
3267 iluminación con que la empresa cuenta, con las medidas de eficiencia que sean implementadas y las
3268 horas anuales de funcionamiento de las instalaciones.

3269 Un aspecto importante en todos los ámbitos de la industria, y que, si o si debe considerarse en todas las
3270 instalaciones industriales, tiene que ver con la correcta iluminación de los espacios de trabajo, ya sea en
3271 oficinas o en los recintos donde se encuentra la maquinaria y se desarrolla el proceso productivo, en ese
3272 contexto hay tres aspectos complementarios importantes a considerar:

3273 • Higiene y seguridad en el trabajo: tiene que ver con los aspectos de higiene y aspectos
3274 ergonómicos establecidos en el DS N°594 en la normativa de seguridad del trabajo, que implica
3275 lograr que los trabajadores se sientan cómodos en su puesto de trabajo, tengan un rendimiento
3276 adecuado con la iluminación instalada y esto les permita desarrollar sus actividades sin
3277 exponerse a problemas de salud y seguridad (riesgos) en el lugar de trabajo.

3278 • Costos de implementación de los sistemas de iluminación: tiene que ver con aspectos de costos
3279 que dependen, por un lado, del tipo y cantidad de iluminación de acuerdo con los
3280 requerimientos de los espacios a iluminar y, por otro lado, considera los costos de
3281 mantenimiento y operación de los sistemas de iluminación.

3282 Los costos de mantenimiento y operación de los sistemas de iluminación dependen del tipo de
3283 equipos seleccionados, de la forma y características del área a iluminar y de la geometría
3284 necesaria en la iluminación.

3285 • Iluminación eficiente: tiene que ver con disminuir los consumos excesivos debido a equipos de
3286 iluminación con tecnología antigua y lograr la optimización en el uso de estos sistemas

3287 Se puede indicar que hay al menos tres objetivos que se desean alcanzar con la iluminación
3288 eficiente:

3289 ○ Reducir el consumo de energía sin afectar la calidad de la iluminación de los espacios
3290 industriales.

3291 ○ Alargar la vida de los activos que se dispongan para la iluminación al utilizar equipos de
3292 tecnología más moderna.

3293 ○ Reducir el impacto sobre el medio ambiente al utilizar equipos que no contienen
3294 agentes dañinos, como gases nocivos.

3295 También hay que considerar que los sistemas de iluminación, a lo menos deben estar compuesto por
3296 dos sistemas:

- 3297 d. Sistemas de iluminación normal: Corresponde a toda la iluminación que debe tener la
3298 instalación en condiciones normales de suministro eléctrico, es decir en todos los periodos en
3299 que la instalación dispone de energía eléctrica en forma normal.
- 3300 e. Sistemas de iluminación de emergencia: Corresponde a toda la iluminación necesaria requerida
3301 para iluminar ciertas áreas claves de la instalación, en caso de pérdida de suministro normal de
3302 energía eléctrica, considerando en estos sistemas a lo menos toda la iluminación de las vías de
3303 escape y la iluminación de emergencia en las áreas operativas, salas eléctricas y todo aquel
3304 recinto que genere una condición de riesgo a las personas al no disponer de un sistema de
3305 iluminación de emergencia.

3306 10.5.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

3307 En iluminación, asociado a los componentes de los sistemas, se puede definir que las tareas se enfocan
3308 en ámbitos de una operación eficiente de los sistemas de iluminación y el mantenimiento de estos,
3309 tanto para los equipos de oficinas, talleres, naves industriales o de proceso y equipos de iluminación
3310 exterior en calles, patios y sectores de tránsito.

3311 Podemos definir que principalmente los sistemas de iluminación están compuestos por:

- 3312 • Postes: De concreto, de madera o metálicos, utilizados principalmente en las zonas de patios
3313 exteriores, calles y zonas de tránsito de los trabajadores y en algunas ocasiones en los interiores de
3314 las naves sobre las plataformas por las que transita el personal.
- 3315 • Tableros de alimentación y Cables: Son tableros de terreno que alimentan los diferentes circuitos de
3316 iluminación y los cables pueden ser aéreos, subterráneos o bien ubicados en bandejas eléctricas.
- 3317 • Zoquetes o porta tubos: Receptáculos ubicados en oficinas o recintos industriales donde se insertan
3318 las ampolletas o bien los tubos fluorescentes.
- 3319 • Ampolletas, tubos fluorescentes, lámparas industriales: Son los equipos de iluminación propiamente
3320 tal y su definición o tipo se adecúa según la prestación de servicio que debe entregar, así por
3321 ejemplo ampolletas y tubos fluorescentes para oficinas, talleres, pasillos interiores y luminarias
3322 industriales para áreas de proceso de tamaño y altura mayor o para algunos sistemas de iluminación
3323 exterior.
- 3324 • Sistema de control “inteligente” para la iluminación: Sistemas de control de iluminación diseñados
3325 para optimizar la utilización de los equipos mediante el control de encendido/apagado o bien
3326 disminución de la luminosidad cuando no hay personas en el entorno, están formados por sensores
3327 de movimiento, sensores de luz día / noche, comunicación inalámbrica y software de control.

3328 De esta manera, hacer gestión de los componentes de iluminación se traduce en actividades de
3329 operación menores y actividades de mantenimiento, que se indican en los puntos siguientes.

3330

3331 10.5.2 GESTIÓN DE OPERACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

3332 En la gestión de operaciones, los operadores pasan a ser todas las personas que utilizan los espacios
3333 iluminados, son quienes deben encender y apagar las luces de acuerdo al uso o bien administrar los
3334 sistemas inteligentes de control de iluminación, de esta forma podemos definir:

- 3335 • Usuarios que operan manualmente los sistemas de iluminación: Corresponde a las personas que
3336 manipulan encendiendo y apagando los sistemas de iluminación existentes en las dependencias o
3337 instalaciones de la empresa
- 3338 • Todo usuario que opere manualmente los sistemas de iluminación, en el contexto de la gestión de
3339 los activos y en la eficiencia energética, debe saber que es fundamental que operen
3340 responsablemente estos sistemas, manteniéndolos encendidos cuando realmente son necesarios y
3341 apagándolos cuando se retiren del sector. Se puede utilizar la técnica del recordatorio, que consiste
3342 en letreros en los puntos de encendido/apagado recordándoles a los usuarios que apaguen las luces
3343 cuando abandonen el recinto.
- 3344 • Sistemas gestores de iluminación eficiente: Corresponde a los sistemas automáticos para encender
3345 o apagar los sistemas de iluminación, los que una vez instalados y/o programados no requieren del
3346 input del usuario para su funcionamiento ya que operan de acuerdo a condiciones dadas por los
3347 niveles de luz durante el día o durante la noche y/o a la detección de actividad en el sector, actividad
3348 dada por la presencia de personas, equipos o vehículos u otros que ingresan al área de monitoreo
3349 de estos sistemas, entre estos se encuentran:
 - 3350 ○ Detectores de movimiento: Sistemas que, mediante la detección de movimiento en el sector
3351 definido al alcance de su sensor, detecta que existe un movimiento inusual, esto permite
3352 que las luces se mantengan apagadas y se enciendan al detectar este movimiento. Pueden
3353 operar ya sea de día o de noche.
 - 3354 ○ Detectores de día / noche: Sistemas que miden la luminosidad y al detectar que se está
3355 oscureciendo se activan para encender las luces de un sector, son útiles ya que
3356 automáticamente mantienen las luces apagadas durante el día eliminando el gasto
3357 innecesario de energía eléctrica.
 - 3358 ○ Relojes horarios: Corresponde a sistemas de tiempo o relojes que se programan con horas
3359 de encendido y apagado, en horas durante el día o la noche.
 - 3360 ○ Sistemas inteligentes de control de sistemas de iluminación: Son sistemas que se basan en
3361 software que permiten el control de los equipos de iluminación y que en terreno ejecutan
3362 acciones a partir de detectores de movimiento y cámaras, actuando directamente con cada
3363 equipo de iluminación de un sector, tanto para encender / apagar como para bajar /
3364 aumentar la intensidad luminosa del sector, a su vez permiten gestionar la información de
3365 consumo y otras variables.

3366 10.5.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN

3367 En publicación de la agencia del 21 de septiembre de 2017, en relación a un sistema de iluminación
3368 eficiente indica que:

3369 “Según los expertos, un sistema de iluminación eficiente siempre será aquel que equilibra
3370 requerimientos, inversión y costos operacionales, por lo que el conocimiento de las características de las
3371 lámparas es fundamental a fin de cumplir con las condiciones establecidas”.

3372 De esta forma es relevante considerar que debe mantenerse el equilibrio de los tres conceptos
3373 anteriores en la ecuación de la eficiencia energética en iluminación, sumados a la correcta definición del
3374 bienestar, ergonomía y seguridad de las personas y los espacios a ser iluminados y mejorados en forma
3375 eficiente.

3376 Los sistemas de iluminación se basan principalmente en la obtención de energía lumínica a partir de
3377 energía eléctrica, energía (eléctrica) que se utiliza para muchos otros fines, por lo tanto, hay una
3378 competencia por el uso de esta energía. Producto de esta competencia y lo difícil y costoso que es
3379 generarla y transportarla hasta los puntos de consumo y además considerando el aumento explosivo
3380 que ha tenido el consumo eléctrico a nivel nacional, regional y mundial, es que se desarrolla en forma
3381 activa el concepto de la eficiencia energética, que en particular en los sistemas de iluminación consiste
3382 en iluminar en forma segura utilizando menos energía eléctrica, sin disminuir el bienestar de los
3383 usuarios y a un costo menor, es decir lograr igual cantidad de iluminación utilizando menos energía
3384 eléctrica.

3385 Actualmente en los sistemas de iluminación la tecnología LED es la que se está utilizando de preferencia
3386 en los sistemas industriales, especialmente para las oficinas, pasillos, bodegas e incluso para iluminación
3387 de espacios amplios y para exteriores, aunque hay otras tecnologías, la tecnología led es la que permite:

- 3388 • Una disminución de la huella de carbono, se consigue la reducción en emisiones de CO2 y
3389 eliminación de residuos tóxicos como el mercurio, generados por otros medios de iluminación.
- 3390 • Una disminución de los costos de operación, por ejemplo, a nivel de los tubos fluorescentes, con
3391 la tecnología LED se ahorra el mantenimiento y/o reemplazo de partidores y ballast, así como la
3392 mano de obra de este trabajo.
- 3393 • Una disminución en las labores de mantención en iluminación, debido por ejemplo a la
3394 disminución de componentes en los tubos y la menor frecuencia de cambio de equipos.

3395 Si bien el uso de tecnología LED implica una inversión inicial mayor, esta se recupera de uno a tres años
3396 dependiendo del uso que preste el sistema de iluminación,

3397 La eficiencia energética de los sistemas de iluminación se basa en el rendimiento que tienen los
3398 elementos de iluminación, ya sean ampolletas, fluorescentes o iluminación industrial, donde un equipo
3399 más eficiente que otro es aquel que logra el mismo grado de luminosidad utilizando una menor potencia
3400 eléctrica de entrada.

Es relevante tener claro el concepto de luz visible o simplemente luz, que se define como el rango de longitudes de onda de radiación electromagnética que el ojo humano es capaz de percibir dentro del total del espectro magnético, que comúnmente se encuentra en longitudes de onda de 390 a 750 nm. Bajo los 390 nm se encuentra el espectro ultravioleta y sobre los 750 nm se encuentra el espectro infrarrojo.

Dado que siempre en la transferencia de energía hay pérdidas en el proceso de transformación de energías, en este caso en la transferencia de energía eléctrica a energía luminosa, existen pérdidas por calor generado en el proceso y por parte de la energía que se convierte en radiación no visible, tal como se muestra en la figura 10.5.1:



Figura 10.5.1: Diagrama de transformación de energía eléctrica en luminosa

(Fuente: Elaboración propia)

Rendimiento o Eficiencia Luminosa (η): Es el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que caracteriza a una fuente de luz, su unidad es lumen/Watt

$$\eta = \frac{\text{Flujo Luminoso}}{\text{Potencia consumida}} = \frac{\phi}{W}$$

De acuerdo con la definición anterior, el **máximo rendimiento o el óptimo de eficiencia luminosa** de las ampolletas o tubos fluorescentes se logra al utilizar equipos que minimizan las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles o, visto de otra forma, cuando el flujo luminoso se optimiza respecto de la potencia consumida por el artefacto.

Las ventajas que presentan los sistemas de iluminación led son:

- **Ahorro energético y de costos:** Comparadas con una ampolleta incandescente, los LED pueden generar la misma cantidad de luz utilizando una pequeña fracción de la energía, lo que se traduce en significativos ahorros en la cuenta de la luz.

Como norma general una ampolleta LED ahorra un 80% de energía sobre una incandescente, pero a esto hay que sumarle que la ampolleta dura en promedio unas 50 veces más por lo que su uso lleva a ahorros de costos de hasta 90%.

3428 • Duración: Por su tecnología las luces LED tienen una mayor vida útil. En promedio, los distintos
3429 tipos de luces LED duran entre 20.000 y 80.000 horas.

3430 Su duración, también las hace ideales para lugares donde es difícil cambiar la ampolla, dando
3431 mayor libertad en usos arquitectónicos, muebles y vitrinas.

3432 Esto también genera un ahorro considerable debido a un menor costo de reposición de los
3433 equipos debido a su mayor vida útil.

3434 • Transferencia de energía más eficiente: Las luces LED generan muy poco calor, porque la mayor
3435 parte de la energía se usa para generar luz. Con las ampollas incandescentes sucede lo
3436 contrario, más del 90% de la energía se traduce en calor.

3437 • Tecnología ambientalmente sustentable: A diferencia de las ampollas de ahorro o
3438 fluorescentes las LED no tienen contaminantes como mercurio y gases nocivos. Otro factor que
3439 realmente hace más ecológicas a las luces LED es su duración (hasta 100 veces la de una
3440 incandescente y hasta 50 veces de una de ahorro) por lo que hay mucho menos desperdicios y
3441 residuos en el tiempo. Por último, las luces LED son fabricadas con materiales no contaminantes
3442 y son fáciles de reciclar.

3443 En los casos de uso de luminarias industriales ya sea en las naves de operación como en los patios de
3444 camiones o de bodega que normalmente utilizan luminarias industriales de haluro metálico de 400 W,
3445 se realizaron pruebas para comprobar los posibles ahorros de energía utilizando equipos led de 200 W,
3446 mediante simulaciones de luz y mediciones en las propias instalaciones con el uso de luxómetro. Los
3447 resultados obtenidos indican que las luces LED de 200W ofrecen la misma cantidad de iluminación que
3448 las ampollas de haluro metálico de 400W, generándose un ahorro energético de casi un 50%.

3449 Para generar el ahorro energético en las instalaciones industriales, se indican las siguientes
3450 consideraciones:

- 3451 1. Preferir sistemas LED para ampollas y para focos industriales interior o exterior.
- 3452 2. Para ampollas, el reemplazo es inmediato ya que las ampollas LED se alojan sin problemas
3453 en los soquetes ya instalados.
- 3454 3. En los sistemas de tubos fluorescentes, los LED se pueden instalar en reemplazo de los tubos
3455 tradicionales ya que las canoas son compatibles, realizando la eliminación del partidador y el
3456 ballast de la instalación actual y dejar conectado directo el nuevo tubo LED a los 220 V.
- 3457 4. Analizar a nivel de la instalación industrial el reemplazo de los focos de tamaño considerable,
3458 como los de 400W actuales por los de tecnologías LED, en este caso debe estudiarse si el
3459 reemplazo se considera como un ítem de proyecto nuevo (inversión) o bien se imputa como
3460 gasto de la operación.

3461 Una comparación posible para esta definición consiste en comparar los costos de inversión y de
3462 operación por un periodo determinado, por ejemplo 3 años, considerando esencialmente
3463 recambios de focos y los gastos de mano de obra y equipamiento para el trabajo (ejemplo
3464 equipo alza hombre), mediante el siguiente análisis:

Nota: Este es un cálculo simplificado, considerando la moneda actual y suponiendo que los costos y valores involucrados son idénticos durante el horizonte de evaluación.

- **Costos del reemplazo:**

1. Mantener tecnología actual durante los próximos 3 años

Como en este caso los equipos tradicionales están instalados, por lo tanto, lo que se quiere comparar es el costo de reposición y mantenimiento de los equipos existentes en una ventana de tiempo, para el ejemplo, 3 años.

$$\text{Inversión con equipos existentes (\$)} = \text{NCE3A} * (\text{CFE} + \text{CMUE})$$

Donde:

NFE: Número de focos existentes en la instalación o que se deseen reemplazar.

CFE: Costo unitario de foco existente nuevo (del mismo tipo).

NCE3A: Número de cambios focos existentes que fallan durante los 3 años evaluados, por focos similares.

CMUE: Costo unitario ejecución del recambio de foco existente con falla por uno similar (corresponde a HH's, maquinarias y herramientas para el reemplazo).

2. Realizar el cambio de la tecnología actual por tecnología LED.

La alternativa es realizar el cambio de las luminarias existentes por luminarias LED, en este caso se debe considerar que se reemplazan todos los equipos y las respectivas reposiciones y mantenciones de los equipos nuevos, en el mismo periodo de tiempo del cálculo anterior (3 años).

$$\text{Inversión con equipo LED nuevo (\$)} = \text{NFL} * (\text{CFL} + \text{CMUL}) + \text{NCL3A} * (\text{CFL} + \text{CMUL})$$

Donde:

NFL: Número de focos LED nuevos.

CFL: Valor unitario de cada foco LED.

NCL3A: Número de cambios focos LED en 3 años.

CMUL: Costo unitario ejecución del recambio de foco LED con falla por uno similar (corresponde a HH's, maquinarias y herramientas para el reemplazo).

3. Costo reemplazo

El costo del reemplazo en un horizonte de tres años consiste en la diferencia entre mantener el sistema actual según definido en (1) y el valor que se incurre en realizar el cambio de la tecnología a equipos LED según definido en (2), de esta forma la ecuación siguiente muestra el valor que representa en costo del reemplazo.

$$\text{Diferencia costo reemplazo en 3 años} = \text{Costos equipos existentes} - \text{Costo equipos LED nuevos}$$

- Ahorro de energía o mejora en la eficiencia energética de la instalación:**

Dado que se realiza el reemplazo de los focos existentes por los nuevos de menor consumo, existe un ahorro de energía, o dicho de otra forma existe una mejora en la eficiencia energética de la instalación, lo que se presenta en la fórmula siguiente:

$$\text{Ahorro energético (W)} = (NFE * WFE - NFL * WFL)$$

Donde:

NFE: Número de focos existentes en la instalación o que se deseen reemplazar.

WFE: Watt de los focos existentes.

NFL: Número de focos LED nuevos.

WFL: Watt de los focos LED nuevos.

Si llevamos a ahorro el consumo anterior, el cálculo para un año es el siguiente:

$$\text{Ahorro energético \$} = CKH * DFA * HDF * (NFE * WFE - NFL * WFL) / 1000$$

Donde:

CKH: Costo del KWh según tarifa.

DFA: Días operando durante un año.

HDF: Horas de operación en un día.

Finalmente, el ahorro total estaría dado por:

$$\text{Diferencia costo reemplazo en 3 años} + \text{Ahorro energético \$}$$

3530 A continuación, se muestra una planilla Excel donde se pueden ingresar los datos y obtener el resultado
3531 del cálculo.

3532

Como en este caso los equipos tradicionales están instalados, por lo tanto, lo que se quiere comparar es el costo de reposición y mantenimiento de los equipos existentes en una ventana de tiempo, para el ejemplo, 3 años, contra el recambio por equipos nuevos de tecnología más eficiente.			
		Costo equipos existentes (\$) = NCE3A * (CFE + CMUE)	
NFE: Número de lámparas/luminarias existentes en la instalación o que se deseen reemplazar	5	\$	1,020
CFE: Valor unitario de cada lámpara/luminaria existente	\$ 500		
NCE3A: Número de cambios de lámparas/luminarias existentes en 3 años	2		
CMUE: Costo de mantención unitario lámpara/luminarias existente	\$ 10		
La alternativa es realizar el cambio de las luminarias existentes por luminarias LED, en este caso se debe considerar que se reemplazan todos los equipos y las respectivas reposiciones y mantenciones de los equipos nuevos, en el mismo periodo de tiempo del cálculo anterior.			
		Costo equipo LED nuevo (\$) = NFL * (CFL+CMUL) + NCL3A * (CFL + CMUL)	
NFL: Número de focos LED nuevos.	5	\$	35,070
CFL: Valor unitario de cada foco LED.	\$ 5,000		
NCL3A: Número de cambios focos LED en 3 años	2		
CMUL: Costo mantención unitario foco LED	\$ 10		
Diferencia costo reemplazo en 3 años = Costos equipos existentes – Costo equipos LED nuevos	-\$		24,030
Luego se calcula el ahorro de energía o mejora en la eficiencia energética de la instalación actual:			
		Ahorro energético (W) = (NFE * WFE – NFL * WFL)	
NFE: Número de focos existentes en la instalación o que se deseen reemplazar.	5		275
WFE: Watt de los focos existentes.	60		
NFL: Número de focos LED nuevos.	5		
WFL: Watt de los focos LED nuevos.	5		
Dentro de un periodo de 1 año, nuestro ahorro económico estará determinado por el costo de la energía, las horas de operación de los focos a reemplazar por LED y la diferencia de potencia instalada entre la situación existente y la situación con focos LED. Lo anterior se desarrolla a continuación:			
		Ahorro energético \$= CKH * DFA * HDF * (NFE * WFE – NFL * WFL) / 1000	
CKH: Costo del KWh según tarifa	\$ 100.0	\$	100,375
DFA: Días de Funcionamiento Anuales	365		
HDF: Horas del Día Funcionando	10.0		
Finalmente el ahorro total estaría dado por la diferencia entre el ahorro económico y la diferencia del costo de reemplazo, ambos durante un plazo de 3 años:			
Diferencia costo reemplazo en 3 años + 3 * Ahorro energético \$	\$		277,095

3533

3534

Tabla 10.5.1: Tabla de cálculo simplificado del ahorro cambio a LED

3535

3536 10.5.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

3537 Una vez realizado el diseño e instalación del sistema de iluminación lo que se gestiona a nivel de
3538 mantenimiento de activos corresponde principalmente a la reposición de luminarias tanto interiores
3539 como exteriores, en este caso la estrategia de mantenimiento será mayoritariamente correctiva y tendrá
3540 el desafío de estandarizar las instalaciones y solicitar mantener en stock de bodega elementos de
3541 recambio en cantidad suficiente para evitar problemas a los usuarios.

3542 Como se menciona en el párrafo precedente la estrategia de mantenimiento será preferentemente
3543 correctiva, como por ejemplo, se deben ejecutar cambios de ampolletas cuando estas se queman, no
3544 obstante lo anterior, es necesario planificar actividades preventivas que permitan mantener el
3545 desempeño óptimo de los sistemas de iluminación, estas actividades corresponden a:

- 3546 • Inspección y aseo de luminarias y porta iluminación.
- 3547 • Medición periódica de grado de iluminación (LUX) por recintos, llevando un registro y control.

- 3548 • Medición de temperatura de sistemas de alimentación eléctrica, se recomienda una frecuencia
3549 trimestral
- 3550 • En el caso de luminarias con postación, inspección de bases, anclajes y corrosión.
- 3551 • Revisión de tendidos de cables.
- 3552 • Revisión, chequeo y mantenimiento a sistemas que forman parte de los componentes inteligentes
3553 de iluminación.
- 3554 **10.5.4.1 Catálogo de fallas en Sistemas de Iluminación.**
- 3555 A continuación, se muestra un cuadro con las fallas más típicas en los sistemas de iluminación, se
3556 indican las causas probables y se sugiere una acción correctiva o de chequeo, esta lista no muestra el
3557 total de fallas posibles, en la medida que se vayan presentando modos de fallas diferentes, el catálogo
3558 de fallas debe enriquecerse con dicha información.

3559

Descripción de la falla	Afecta eficiencia energética	Posible causa	Acción correctiva
1. Luces no encienden	No	1.1. Interruptor actuado	1.1.a. Verificar interruptor, si está actuado llevarlo a posición ON (energizar). 1.1.b. Si la falla vuelve a ocurrir, desconecte las cargas y revise el sistema de iluminación involucrado.
		1.2. Ampolleta o fluorescente quemado	1.2. Reemplazar la ampolleta o fluorescente.
		1.3. Falla energía eléctrica	1.3. Verificar presencia de tensión en tablero de alimentación eléctrica, mida aguas arriba hasta encontrar el punto de discontinuidad de tensión.
2. Luces parpadean	Sí	2.1 Ampolleta o fluorescente con problemas	2.1. Reemplazar la ampolleta o fluorescente.
		2.2. Problemas en el suministro eléctrico	2.2. Verificar estado de suministro eléctrico, comunicarse con el proveedor si es que el problema está en el suministro de terceros.
3. Luces presentan baja luminosidad	No	3.1. Ampolletas, fluorescentes o tapa traslúcida se encuentran sucias	3.1. Realizar limpieza a equipos.
		3.2. Alto consumo de energía eléctrica	3.2. Medir tensión en tablero de distribución, medir desbalance de corriente en las fases, verificar con proveedor del servicio.
4. En sistema de detección de movimiento, las luces no encienden al acercarse al área de influencia	No	4.1. Ampolletas o fluorescentes con problemas	4.1. Revisar ampolletas o fluorescentes, proceder a reemplazar si procede.
		4.2. Detector de movimiento defectuoso	4.2. Verificar estado de detector de movimiento, reemplazar el detector si procede.
		4.3. No hay energía eléctrica	4.3. Verificar presencia de tensión en tablero de alimentación eléctrica, mida aguas arriba hasta encontrar el punto de discontinuidad de tensión.

3560

3561

Tabla 10.5.2: Catálogo de fallas sistemas de iluminación

3562

3563 10.5.4.2 Plan de mantenimiento de un sistema de iluminación

3564 Se indicó que, en iluminación, todo lo relacionado con los componentes emisores de luz (ampolletas,
3565 tubos fluorescentes) corresponde a un mantenimiento correctivo, pero existen en los sistemas de
3566 iluminación otros componentes que ameritan disponer de un plan preventivo para asegurar su ciclo de
3567 vida y la operatividad de los sistemas que soportan o que dan apoyo. A continuación, se muestra un
3568 esquema típico de un plan de mantenimiento preventivo para estos componentes.

3569

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																											
Tareas	Frecuencia	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio							
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4				
Revisar estado operacional de luces	Mensual	1			✓				✓				✓				✓				✓				✓							
Inspección y aseo de sistemas de iluminación	Cada 2 meses	2				✓								✓								✓										
Medición de iluminación en áreas	Anual	4																									✓					
Medición de temperaturas en tableros de distribución de los sistemas de iluminación	Trimestral	0.5					✓												✓													
Inspección al sistema de postes de iluminación, considera bases, pernos de anclaje, estado general del poste	Bi anual	8								✓																						
Revisiones de sistemas de puesta a tierra	Anual	6																														
Revisar estado de los cables de iluminación	Anual	5																														
Mantenimiento y aseo de la iluminación de postes y techos naves de proceso	Trimestral	4				✓													✓													
Reapriete de conexiones y cables en tableros de distribución	Bi anual	3											✓																			
Toma de datos del consumo eléctrico	Mensual	1						✓					✓				✓				✓				✓				✓			
Inspección y prueba del sistema de iluminación de seguridad	Trimestral	2						✓											✓													

3570

3571

Tabla 10.5.3: Plan de mantenimiento sistemas de iluminación

3572

3573

10.6 SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

En la mayoría de los procesos industriales los sistemas de aire comprimido tienen gran importancia debido a que es una forma muy eficiente y segura de transformación de la energía. Sin embargo, es una forma de energía costosa para los procesos industriales. Es común ver en los más diversos procesos industriales fugas en las líneas de aire comprimido, también es común ver líneas de aire comprimido ventilando o refrigerando sistemas. Esto constituye una ineficiencia desde el punto de vista energético. Con una estrategia adecuada para la Gestión de Activos estos problemas son visualizados y mejorados, al considerar el aire comprimido como un activo más, que debe aportar valor en su propio contexto.

Por ejemplo: un compresor estándar de 9 l/s con una potencia nominal de 67,5 kW tiene un consumo específico de 0,22 kWe/m³/s. (Ver Guía para Certificación de Consultores en Eficiencia Energética, Capítulo 15, ACEE).

De acuerdo a la figura 10.6.1 una fuga puede llegar a perder más de 500 m³ por minuto, dependiendo del diámetro de la fuga y la presión de la línea.

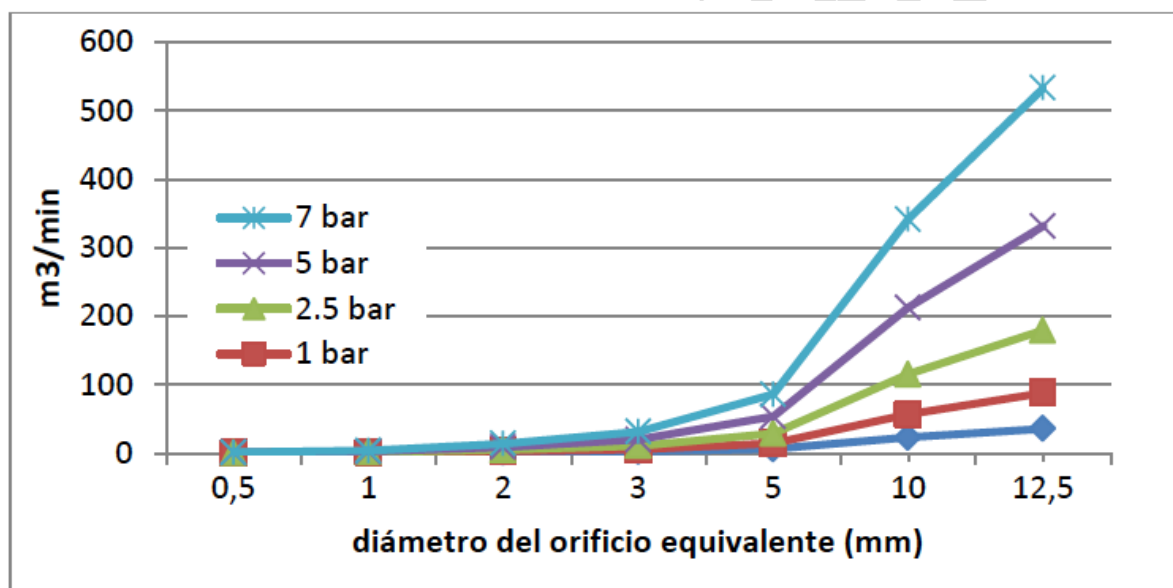


Figura 10.6.1: Pérdidas por Fugas en líneas de Aire Comprimido en Función de la Presión, Caudal y Diámetro del orificio

Fuente: Guía para la Certificación de Consultores ACEE

El aire comprimido se genera en un equipo denominado compresor de aire. Desde el punto de vista de las energías, un compresor de aire es un equipo que transforma la energía eléctrica, que alimenta el motor del compresor, en energía mecánica que se utiliza para aumentar la presión del aire de entrada a valores necesarios para el proceso, de esta forma un compresor de aire es una máquina que aumenta la presión y la energía cinética del aire.

3596 La amplia gama de uso de aire comprimido en la industria lo hace necesario para servicios como:

- 3597 • Soplado en plantas panificadoras.
- 3598 • Limpieza de envases de alimentos.
- 3599 • Clasificar, cortar y dar forma a productos alimenticios.
- 3600 • Llenado y sellado de envases de cartón en industrias lácteas y de jugos.
- 3601 • En máquinas utilizadas en la construcción y/o demolición, aplicación de pinturas.
- 3602 • Trabajos de moldeado por inyección de aire a alta presión.
- 3603 • Operación de herramientas y equipos.
- 3604 • Aseo y limpieza de algunas áreas con aire industrial.
- 3605 • Apertura y cierre de válvulas neumáticas o motores neumáticos.
- 3606 • Forman parte de otros equipos mayores, como los sistemas de refrigeración, sistemas de aire acondicionado, sistemas de generación de energía eléctrica, otros.
- 3607
- 3608 • Equipos especiales que necesitan aire a presión libre de contaminantes y agentes patógenos.

3609 10.6.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

3610 Un sistema de aire comprimido para uso industrial está formado por los siguientes componentes:

- 3611 • Compresor: Es el equipo dedicado a elevar la presión del aire de entrada, sus partes más importantes son:
- 3612
- 3613 ○ Filtro de entrada: Encargado de eliminar la mayor cantidad de material particulado del
- 3614 aire.
- 3615 ○ Compresor: Mediante la compresión del aire, transforma la energía mecánica en energía
- 3616 neumática.
- 3617 ○ Post enfriador: Encargado de eliminar el agua que se encuentra en la humedad del aire.
- 3618 ○ Motor eléctrico: Encargado de transformar la energía eléctrica a mecánica.
- 3619 ○ Poleas y correas: Uniones entre los sistemas.
- 3620 • Estanques de almacenamiento: Se almacena el aire a presión, dependiendo del uso del aire se
- 3621 tienen estanques para aire seco y para aire húmedo:
- 3622 ○ Estanque aire húmedo: El aire a presión se utiliza para fines generales, como aire para
- 3623 soplado, herramientas, otros.
- 3624 ○ Estanque aire seco: El aire a presión se utiliza para fines específicos donde se requiere
- 3625 aire en condiciones más óptimas, como alimentación de válvulas neumáticas o motores
- 3626 neumáticos, servicios alimenticios, otros.
- 3627 • Filtros de línea: Son los encargados de purificar el aire comprimido hasta una calidad suficiente
- 3628 para el promedio de las aplicaciones del servicio.

- Secador: Equipo que permite mejorar sustancialmente la calidad del aire en el aspecto de la humedad, permitiendo disponer de un aire extremadamente seco.
- Purga de condensado: Sistema de evacuación de agua residual en las líneas de aire, se retira principalmente desde los filtros. El condensado se genera en estos sistemas como consecuencia de la compresión y posterior enfriamiento del aire al ser llevado a una mayor presión.
- Electrónica y panel de control: Normalmente el panel de control se ubica en la parte frontal de la carcasa del equipo y permite la operación del compresor, así como dispone de información de su estado de operación y estado de sus componentes.

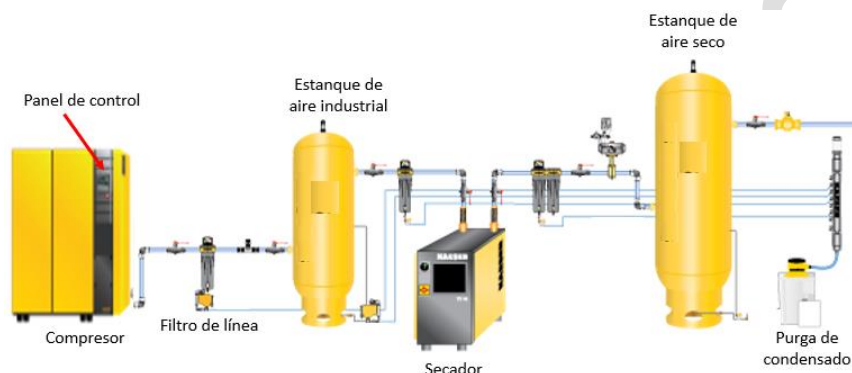


Figura 10.6.2: Componentes de un sistema de aire comprimido

Existe una gran gama de tecnologías para realizar la compresión del aire, las que se detallan a continuación:

- Compresores de desplazamiento positivo.
 - Compresor de tornillo.
 - Compresores de pistón.
 - Compresor de paletas.
 - Compresor de lóbulos o émbolos rotativos.
 - Compresores de Scroll.
 - Bombas de vacío.
- Compresores dinámicos.
 - Compresores centrífugos radiales
 - Compresores centrífugos axiales.

Para efectos de esta guía y considerando que son la mayoría en las instalaciones industriales, se revisarán exclusivamente las tecnologías de desplazamiento positivo con los compresores de tornillo y de pistón.

3654 **Compresor de tornillo:**

3655 En los compresores que utilizan esta tecnología, el desplazamiento del aire se realiza a través de las
 3656 cámaras que se crean con el giro simultáneo y en sentido contrario de dos tornillos, uno macho y el otro
 3657 hembra, de esta forma, el aire llena los espacios creados entre ambos tornillos, lo que hace aumentar la
 3658 presión a medida que se va reduciendo el volumen de cada una de las cámaras. El aire se desplaza en
 3659 forma lineal, partiendo por el lado de aspiración hasta llegar al lado de presión, en este último lado, se
 3660 produce la descarga del aire mediante la tobera de salida. En la Figura 10.6.3 se muestra un corte de la
 3661 carcasa donde se pueden apreciar los dos tornillos en su interior.



Figura 10.6.3: Corte de la carcasa mostrando los dos tornillos

3664 Los compresores de tornillo dependiendo del sistema de lubricación empleado, se diseñan en dos
 3665 formas, compresores de tornillo lubricado y compresores de tornillo exentos de aceite.

- 3666 • **Compresor de tornillo lubricado:** Es el tipo de compresores más utilizado en la industria, en este
 3667 tipo de compresores para realizar tanto el sello, la lubricación y la refrigeración del conjunto
 3668 rotórico se inyecta aceite en los rotores.
- 3669 • **Compresores de tornillo exentos de aceite:** La tecnología de estos equipos busca el suministro
 3670 de aire a presión, sin que se contamine con el aceite, para ello, a diferencia del tornillo
 3671 lubricado, no se inyecta aceite en el interior de los rotores, por lo que los rotores trabajan en
 3672 seco.

3673 Dependiendo de la presión de salida, para presiones mayores, se utiliza un equipo que tiene dos
 3674 unidades compresoras en paralelo, que trabajan en serie y son accionadas por un mismo motor
 3675 mediante una caja de engranajes común.

3676 **Compresor de pistón:**

3677 En los compresores de pistón, mediante un proceso de aspiración el aire es ingresado al interior de un
 3678 cilindro mediante el accionamiento de una biela y un cigüeñal que actúa sobre un pistón que, al mismo
 3679 tiempo, otro pistón realiza el movimiento contrario, realizando la compresión del aire que se encuentra
 3680 almacenado en el interior del cilindro y una vez que alcanza la presión necesaria, o especificada en el
 3681 equipo, libera el aire a presión a la red.

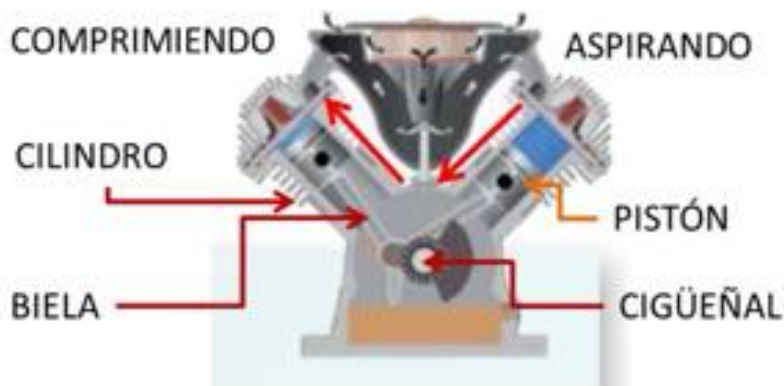


Figura 10.6.4: Esquema de un compresor de pistón de dos cilindros

Los compresores de pistón también pueden ser lubricados o exentos de aceite, para este caso, en los compresores de pistón libres de aceite para evitar que ingrese aceite y contamine el aire, se aíslan las cámaras de aspiración y compresión evitando cualquier contacto con el aceite del equipo.

10.6.2 GESTIÓN DE OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Los sistemas de aire comprimido deben ser correctamente operados de forma de lograr disponer en la operación del aire en las condiciones necesarias para el proceso, para ello es relevante que quienes operan dispongan del necesario conocimiento de los equipos, en primer lugar, se debe considerar que los tres parámetros más importantes de la operación de los sistemas de aire comprimido son la potencia, la presión, el flujo y la calidad del aire.

Potencia del equipo: Normalmente este dato se encuentra en la placa de características del equipo, es importante que el operador tenga siempre presente los valores nominales del equipo.

Product type	GA 30 VSD
Serial number	A11 342551
Max. working pressure	bar-psi 13/188
Max. FAD	l/s-cfm 72/152
Nominal shaft power	kW-HP 30/40
Max. rot. shaft speed	r/min 7200
Gross weight	kg-lb 795/1752
Year of construction	2001

Figura 10.6.5: Placa de características del sistema de aire comprimido

Presión: Normalmente en las plantas industriales, la presión de trabajo es de 7 bar. Con esta presión se puede mover la mayoría de los equipos, diferente es en el caso que la presión se utilice para otros fines, donde será necesario que el operador tenga claro el valor de trabajo. Normalmente, el compresor tiene configurado el rango de trabajo por lo que el operador debe verificar que este, una vez que se ha puesto

3701 en servicio, alcance dicho valor. Las unidades de medida de la presión que normalmente se utilizan son
3702 Bar y PSI.

3703 **Flujos de trabajo:** Al igual que para el caso de la presión, los valores de trabajo de los caudales están
3704 diseñados para el proceso, el operador debe considerar que en la operación del compresor se deben
3705 alcanzar estos valores. Las unidades de medida del caudal que normalmente se utilizan son litros por
3706 segundo (l/s) o pies cúbicos por minuto (CFM).

3707 **Calidad del aire:** Considerando que la toma de aire de los compresores ocurre con el aire atmosférico en
3708 el ambiente inmediato donde se encuentra la instalación, es necesario que se tenga en cuenta la calidad
3709 de este aire y se disponga de los medios necesarios, como filtros y otros que se puedan requerir, para
3710 asegurar esta calidad de aire para el proceso.

3711 El operador debe conocer el equipo que está operando, saber cuál es la presión de trabajo, los caudales
3712 a generar, el tipo de instalación, la alimentación eléctrica y otros que sean necesarios para la correcta
3713 operación del compresor.

3714 Dentro de las precauciones que debe tener presente, está la humedad del aire, por lo que debe contar
3715 con los filtros y trampas requeridos para lograr la humedad necesaria del aire dependiendo de la
3716 aplicación. Las temperaturas extremas del ambiente y los posibles agentes contaminantes del aire
3717 también son factores que el operador debe tener en cuenta en la operación del equipo, ya que estos
3718 afectan la vida útil del equipo. Para verificar estas condiciones hay que tener presente las
3719 especificaciones del fabricante.

3720 10.6.3 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

3721 Teniendo en cuenta que los sistemas de aire comprimido son unidades de servicio, se tiende a no darles
3722 la importancia que se les brinda a otros equipos en las plantas industriales, dado que son sistemas que
3723 operan en forma continua y no presentan un gran nivel de problemas, siempre y cuando se les otorgue
3724 el mantenimiento adecuado.

3725 Consideraciones para el mantenimiento:

- 3726 • Poner atención con los lubricantes cuando hay bajas temperaturas, ya que el vapor de agua
3727 contenido en el estanque puede condensar y generar humedad. Se recomienda que se disponga
3728 de calefactores de cabina y resistencias eléctricas recubiertas en las líneas de aire.
- 3729 • Tener presente que, en las áreas de exceso de polvo, hay que reforzar las labores de limpieza o
3730 cambio de los filtros de aire y aceite. Si el proceso tiene características que generan polución,
3731 considerar filtros para altas concentraciones de material particulado.
- 3732 • Cuidar que el equipo no esté expuesto a la humedad, ya que puede afectar la vida útil del motor
3733 del compresor y provocar corrosión en la cabina del equipo. Considere en estos casos una
3734 resistencia para calentar los devanados del motor, cuando este se encuentre detenido.
- 3735 • Verifique que el voltaje de la red se encuentre en un rango de tolerancia menor a una
3736 desviación de $\pm 10\%$ del voltaje nominal de operación del equipo ya que se pueden generar fallas
3737 o problemas en la operación del equipo.
- 3738 • Verifique que el compresor está debidamente aterrizado eléctricamente.

- 3739 • Verifique que las purgas de condensado se encuentran libres para eliminar el agua que se forma
3740 en las líneas de distribución, disponga de un sistema automático de purgas.
- 3741 • Asegure que las líneas de distribución se encuentran libres de fugas y corrosión, en ambientes
3742 muy fríos mantenga un sistema de calentamiento de líneas en forma permanente.
- 3743 • Pruebe y mantenga operativos en todo momento los sistemas de seguridad de la instalación,
3744 como por ejemplo las válvulas de sobrepresión.
- 3745 • Realice el análisis de riesgos respectivo antes de cada intervención y asegure que no hay riesgos
3746 para las personas (por ejemplo, electrocución, atrapamiento de extremidades, caídas de altura,
3747 entre otros).
- 3748 • Tenga siempre en buen estado sus herramientas y no utilice herramientas hechas.

3749 10.6.3.1 Catálogo de falla Sistemas de Aire Comprimido.

3750 A continuación, se muestra un catálogo de fallas genérico para instalaciones de aire comprimido,
3751 considerar que hay otros modos de falla que pueden incorporarse a la tabla que se muestra a
3752 continuación.

3753

Descripción de la falla	Afecta eficiencia energética	Posible causa	Acción correctiva
1. El compresor se pone en marcha, pero no carga	Si	1.1 Válvula solenoide averiada	1.1 Reparar válvula, de no ser posible, cambiar válvula
		1.2 Válvula de entrada en posición cerrada	1.2 Abrir válvula
		1.3 Fuga de aire	1.3 Verificar y sellar posibles puntos de fuga
2. Salida de aire o presión de salida del compresor es menor a lo normal	Si	2.1 El consumo de aire es mayor al que suministra el compresor	2.1 Verificar capacidad del compresor, si no es el apropiado cambiar por equipo de mayor suministro de aire
		2.2 Filtro de aire sucio	2.2 Limpiar filtro
		2.3 Válvula solenoide con problemas	2.3 Reparar válvula, de no ser posible, cambiar válvula
		2.4 Fuga de aire	2.4 Verificar y sellar posibles puntos de fuga
		2.5 Fuga por válvula de seguridad	2.5 Verificar sello, cambiar si se requiere
		2.6 Compresor con falla	2.6 Verificar y realizar mantención
3. Exceso de consumo de aceite o aceite en la línea de descarga	No	3.1 Alto nivel de aceite	3.1 Quitar aceite y regular nivel
		3.2 Uso de aceite incorrecto	3.2 Cambiar por aceite correcto
		3.3 Falla en el separador de aceite	3.3 Verificar, reparar, y/o cambiar
4 Válvula de seguridad opera después de la carga	No	4.1 Falla en válvula de presión mínima	4.1 Verificar, reparar, y/o cambiar
		4.2 Falla en la válvula de seguridad	4.2 Verificar, reparar, y/o cambiar
5. Temperatura de salida del elemento compresor o del aire de suministro mayor a lo normal	Si	5.1 Muy bajo nivel de aceite	5.1 Verificar, reparar, y/o cambiar
		5.2 Posible obstrucción de refrigerador de aire	5.2 Verificar, reparar, y/o cambiar
		5.3 Compresor con falla	5.3 Verificar, reparar, y/o cambiar

3754

3755

Tabla 10.6.1: Catálogo de falla para un sistema de aire comprimido

3756 10.6.3.2 Plan de Mantenimiento de un Sistema de Aire Comprimido.

3757 Como en la industria es relevante disponer de un sistema de aire comprimido que opere eficientemente,
3758 no tenga interrupciones y sea confiable, la inversión en un plan de mantenimiento preventivo es la clave.

3759 Para estos equipos, es relevante que se cuente con una rutina preventiva, desarrollada en forma regular
3760 y documentada, que considere rutas diarias, semanales, mensuales y semestrales y por otra parte se
3761 utilice la cartilla del fabricante con las especificaciones de los trabajos a considerar dependiendo de las
3762 horas de funcionamiento de estos equipos, el aseguramiento de estos trabajos preventivos mantendrán
3763 el proceso con un aire comprimido de calidad, minimizando las detenciones no previstas o fallas de
3764 estos sistemas.

3765 La mayoría de los equipos actuales poseen sistemas de supervisión en línea y en tiempo real, de las
3766 condiciones del equipo y ante cualquier evento que se desvíe de los parámetros establecidos, generan
3767 alarmas o avisos al personal de mantenimiento. Incluso los equipos más modernos, permiten el envío de
3768 esta información a los sistemas de control de las plantas y/o directamente al personal de
3769 mantenimiento a través de los sistemas de comunicaciones, como celulares y otros.

3770 A continuación, se entrega una tabla que indica tareas rutinarias a realizar en el sistema de aire
3771 comprimido, desde el día a día hasta en forma trimestral, puede haber otras actividades que se
3772 incorporen para mejorar esta rutina, dependiendo del contexto operacional del activo.

3773

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																							
Tareas	Frecuencia	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4
Verifique cualquier ruido o vibración fuera de lo normal	Diario	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Verifique nivel de aceite y agregue si requiere	Diario	2			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Inspección visual del compresor	Diario	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Drenar el condensado de las líneas	Diario	2			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Retire y limpie las tomas de los filtros de aire	Semanal	2			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Verifique la tensión de las correas	Semanal	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limpie todos los componentes del equipo	Semanal	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Realice la prueba de operación de la válvula de seguridad	Semanal	1			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Inspeccione que no hayan fugas de aire	Mensual	2			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Revise el aceite, en caso de estar contaminado cambiar	Mensual	4						✓				✓				✓				✓				✓				✓
Revise fugas de aire en los acoples	Trimestral	1						✓												✓								
Realice apriete de tornillos y tuercas	Trimestral	1						✓												✓								
Inspeccione el montaje de las válvulas	Trimestral	4						✓												✓								
Verifique aceite del compresor, cambie si requiere	Trimestral	4						✓												✓								

3774

3775

Tabla 10.6.2: Actividades preventivas rutinarias

3776 También existen rutinas de mantenimiento dadas de acuerdo a las horas de operación de los equipos,
3777 en la siguiente tabla se muestra un ejemplo de trabajos de mantenimiento a realizar por tiempo de
3778 operación del compresor, para un año de operación, la tabla indica trabajos referenciales, los que
3779 pueden complementarse o simplificarse dependiendo del equipo en particular:

Periodo (Horas de funcionamiento)	Tarea
500	Cambio de aceite
	Cambio cartucho filtro aceite
	Aprete tornillos y terminales de cables
	Tensado de la correa
2500 - 3000	Cambio de aceite
	Cambio cartucho filtro aceite
	Cambio cartucho filtro separador de aceite
	Cambio cartucho del filtro de aire
	Aprete tornillos y terminales de cables
	Limpieza radiador aire/aceite
	Limpieza prefiltro antipolvo
5000 - 6000	Limpieza sistema condensación
	Cambio de aceite
	Cambio cartucho filtro aceite
	Cambio cartucho filtro separador de aceite
	Cambio cartucho del filtro de aire
	Aprete tornillos y terminales de cables
	Tensado de la correa
	Limpieza radiador aire/aceite
	Limpieza prefiltro antipolvo
	Prueba térmica motor - ventilador
8000 - 9000	Prueba térmica aceite
	Cambio de aceite
	Cambio cartucho filtro aceite
	Cambio cartucho filtro separador de aceite
	Cambio cartucho del filtro de aire
	Aprete tornillos y terminales de cables
	Cambio de la correa
	Limpieza radiador aire/aceite
	Limpieza prefiltro antipolvo

3780

3781 *Tabla 10.6.3: Actividades preventivas por horas de trabajo para un compresor*

3782 10.6.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

3783 A nivel industrial, en los sistemas de apoyo que utilizan motores alimentados desde el sistema eléctrico,
3784 los sistemas de aire comprimido son uno de los sistemas que generan uno de los mayores consumos,
3785 especialmente para compresores con motores de potencia considerable.

3786 La eficiencia de un sistema de aire comprimido está en la eficiencia que logra el motor eléctrico en la
3787 operación de estos equipos, la que dependerá de la forma en que está operando el compresor y del
3788 sistema de transporte del aire hasta sus puntos de consumos.

3789 **Como hacer eficiente el sistema de aire comprimido:**

3790 En muchas industrias, el valor de presión al que están configurados los equipos tiende a ser 20% o más
3791 sobre el valor que se requiere para operar los sistemas que utilizan aire comprimido, este incremento en
3792 el valor de presión de descarga del compresor aumenta el consumo de energía, dejando de operar en
3793 forma eficiente, hay que considerar que por cada 2PSI de aumento en la presión, se está consumiendo
3794 un 1% adicional de energía, adicionalmente esto significa un costo extra que impacta en la boleta de
3795 energía eléctrica cada mes.

3796 Cuando se indaga en porque los operadores y mantenedores propician este aumento en la presión de
3797 los sistemas, existe una serie de justificaciones para ello, como por ejemplo:

- 3798 • Se dice que siempre hay una caída de presión en la línea y que el valor de presión en el consumo es
3799 menor al esperado, por este motivo se debe aumentar la presión de generación del aire comprimido.

3800 Efectivamente, si el diseño de la instalación, las líneas de alimentación y la ruta de estas no está
3801 debidamente optimizada, se generarán pérdidas de presión producto de esta topología, eso se
3802 puede arreglar con una modificación tanto del recorrido como de los diámetros correctos para el
3803 transporte del aire, adicionalmente se puede instalar un estanque de almacenamiento que permitirá
3804 entregar estabilidad al sistema en las horas de mayor consumo.

- 3805 • Otra pérdida de presión ocurre cuando no se tiene control eficaz y oportuno de los elementos
3806 filtrantes y de secado del aire, el no realizar el mantenimiento y cambio oportuno generará una
3807 pérdida de presión en las líneas que deberá ser compensado con un mayor consumo de energía
3808 para subir la presión del aire.

3809 Efectivamente, cuando no se realiza la rutina indicada, se generan pérdidas de carga en el sistema, a
3810 modo de ejemplo, cabe indicar que un filtro nuevo tiene una pérdida de carga de 2 PSI
3811 aproximadamente, si no se realiza el cambio oportuno, el filtro se saturará y puede llegar a generar
3812 una carga de 12 PSI (6 veces la del filtro nuevo) antes que se rompa. El consumo de energía y el
3813 costo asociado a la falta de mantenimiento es mucho mayor que realizar los mantenimientos y los
3814 cambios de filtros a tiempo.

- 3815 • Una tercera forma de perder eficiencia en los sistemas de aire comprimido se relaciona con el
3816 mantenimiento correcto de las líneas de transmisión, evitando que tengan fugas. Para los
3817 mantenedores es común escuchar en terreno los sonidos asociados a líneas con fugas, pero creen
3818 que esto no es relevante, pero no es así ya que nuevamente para compensar esta pérdida, se genera
3819 un sobreconsumo de energía para subir el valor de presión de la instalación y como ya se explicó,
3820 esta mayor presión trae asociados mayores costos de operación.

3821 El aumento de la presión en estos casos tiene el inconveniente que, de no reparar las fugas, con la
3822 mayor presión que se programe en el equipo, será mayor el caudal de aire que se pierde en los
3823 puntos de fuga.

- 3824 • Otra forma de desaprovechar la energía en las instalaciones más grandes, donde existe más de un
3825 compresor, es que se encuentren operando en forma simultánea más compresores de los que
3826 realmente se requieren en el proceso, esto en forma intencional y errada como una forma de
3827 asegurar una presión y caudal en la salida de los sistemas o bien porque no está correcta la
3828 secuencia de operación del conjunto de compresores.

3829 La sugerencia es que se revisen estas prácticas usuales en la operación y de esta forma disminuir los
3830 costos y consumos de energía actuales.

3831 Por último, considerar que el impacto que tienen los sistemas de aire comprimido en la industria
3832 normalmente no es valorado como debiera, es por ello por lo que normalmente hay ineficiencia en la
3833 forma en que estos sistemas operan, lo que produce por un lado un mayor costo de la operación y por el
3834 otro una falta de eficiencia energética que debe ser considerada en la justa medida.

CONSULTA PÚBLICA

3835 10.7 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3836 10.7.1 SISTEMAS FRIGORÍFICOS

3837 Un sistema frigorífico tiene por objetivo extraer energía, en forma de calor, desde un recinto, llamado
3838 cámara frigorífica, y expulsarla hacia el exterior. Para ello utiliza los principios termodinámicos de un
3839 ciclo de refrigeración que está compuesto por 4 procesos: compresión, condensación, expansión y
3840 evaporación. Desde el punto de vista de la gestión de activos el aporte de valor de estos sistemas está
3841 en preservar las temperaturas, de los recintos refrigerados, en los valores adecuados para los productos,
3842 mercaderías o bienes que conservan en su interior. Por lo tanto, las estrategias deben estar enfocadas
3843 en que estos sistemas preserven este aporte de valor, en especial la gestión de operaciones con
3844 procedimientos adecuados que minimicen los aportes de calor a las cámaras refrigeradas y la gestión de
3845 mantenimiento salvaguarden la función operativa o la restituyan en caso de pérdida de ésta. Es
3846 importante mencionar que el aporte de valor de los sistemas de refrigeración a la gestión de activos es
3847 distinta de la función operativa de los sistemas. Por ejemplo: Existen cámara frigoríficas cuyo valor a la
3848 gestión de activos es enfriar, extrayendo calor desde los productos de manera muy rápida, llamadas
3849 “cámaras de refrigeración o enfriamiento”, y existen otras cámaras cuyo valor sólo es mantener baja la
3850 temperatura de los productos, llamadas “cámaras de conservación”. En ambos casos la función
3851 operativa del sistema de refrigeración es extraer calor desde un recinto y expulsarlo hacia el exterior.

3852 Desde ahora en adelante se explica la función operativa, la gestión de operaciones y mantenimiento de
3853 estos sistemas de refrigeración.

3854 El intercambio de calor se produce en los procesos de condensación y evaporación, para ello se utiliza
3855 un refrigerante que circula por un circuito cerrado. En general el intercambio energético en la fase de
3856 condensación se realiza con el aire atmosférico, en la fase de evaporación se hace con el aire al interior
3857 de la cámara frigorífica. En la figura 10.7.1 se muestra un ciclo de refrigeración clásico y en la figura
3858 10.7.2 se muestra el ciclo termodinámico y cada uno de los 4 procesos termodinámicos por los que pasa
3859 el refrigerante. Dicho proceso se describe a continuación:

3860 **Compresión:** el proceso de compresión se realiza al vapor una vez que ha pasado por el evaporador.
3861 Este proceso también es un aporte de energía al refrigerante, se hace en forma de trabajo mediante un
3862 compresor. Con ello se consigue un aumento adicional de la temperatura del refrigerante llevándolo a
3863 vapor sobrecalentado manteniendo constante la entropía.

3864 **Condensación:** Este proceso se desarrolla a presión constante. Es en este proceso en donde se entrega
3865 la energía ganada por el refrigerante, en forma de calor en el evaporador y trabajo en el compresor, al
3866 medio ambiente. El refrigerante entra como vapor sobrecalentado y sale como líquido saturado.

3867 **Expansión:** En este proceso se busca bajar la presión del refrigerante en fase de líquido saturado,
3868 manteniendo constante su energía. De esta manera el refrigerante reduce su temperatura.

3869 **Evaporación:** Este proceso es el objetivo de los sistemas frigoríficos. Aquí es donde el refrigerante
3870 captura la energía, en forma de calor, desde la cámara frigorífica. La captura de calor provoca el cambio
3871 de fase líquido a vapor del refrigerante y este la transporta hacia el exterior de la cámara.

3872

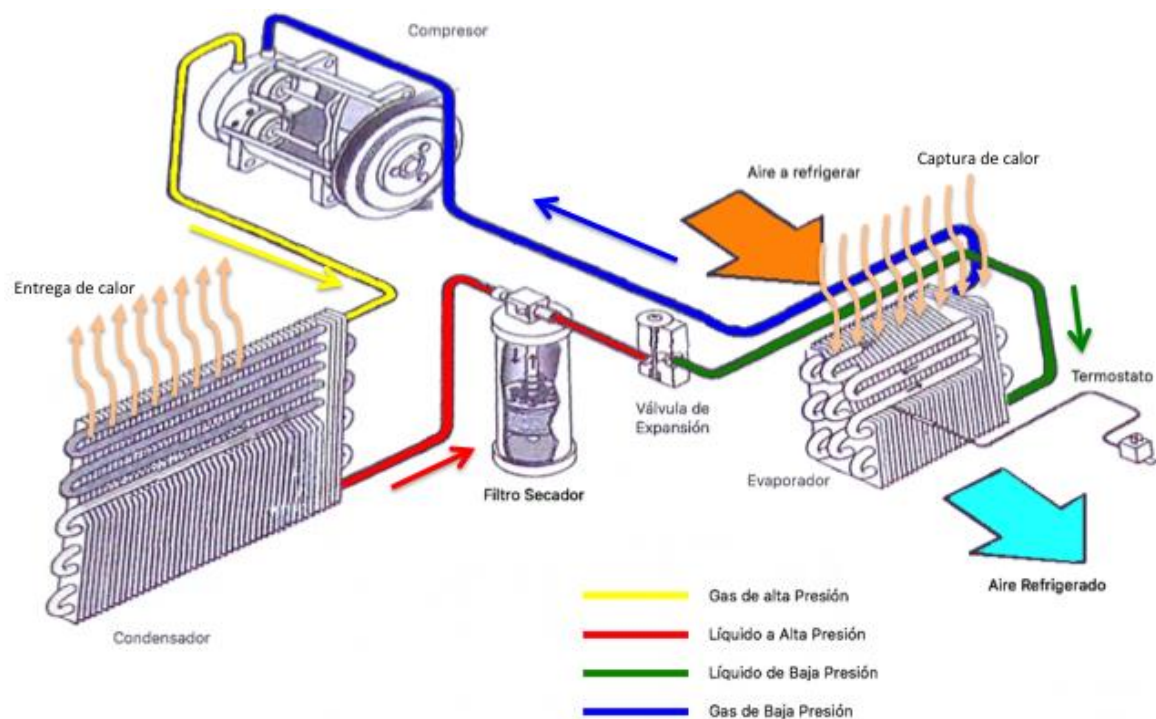


Figura 10.7.1: Esquema de Refrigeración Clásico

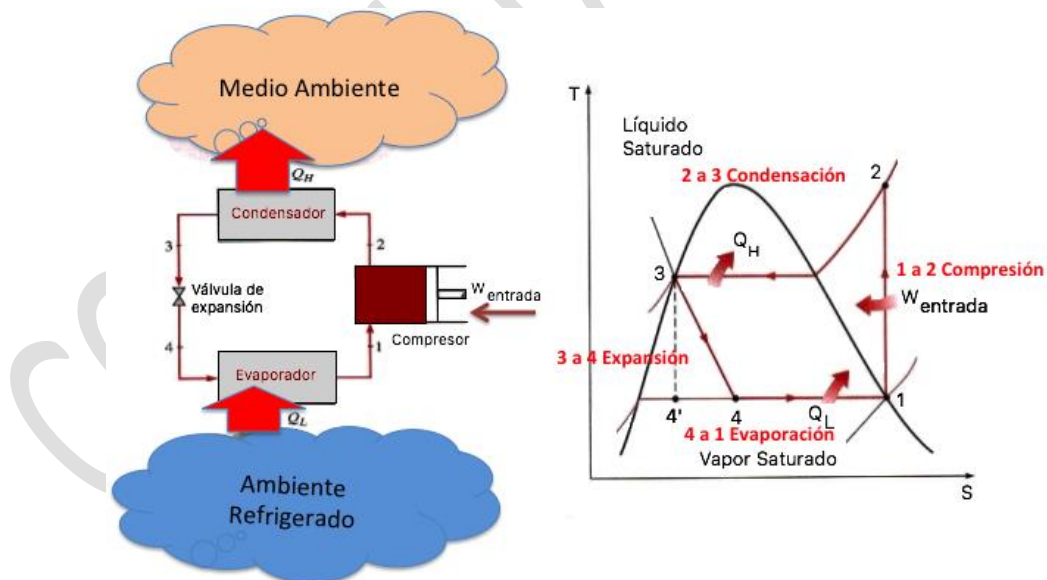


Figura 10.7.2: Diagrama Termodinámico Ciclo de Refrigeración

10.7.2 ENERGÍAS INVOLUCRADAS

Desde el punto de vista del balance de energías tenemos que realizar las siguientes transformaciones de energía:

La energía eléctrica entregada al motor eléctrico se transforma en energía mecánica en el eje del motor. Mediante un acoplamiento, esta energía mecánica es transferida al eje del compresor, quien la transfiere al fluido en forma de “trabajo” (W_{entrada}). El trabajo, en este caso representa la energía transferida al fluido por el pistón del compresor, resultando en un aumento de la energía del fluido manifestándose en aumento de la presión y temperatura del fluido y en un aumento en la energía cinética, lo que provoca un desplazamiento del fluido por el interior del circuito de refrigeración.

Es importante destacar que el aporte de energía eléctrica es el que hace que el sistema funcione. Sin embargo, hay que tener presente que hay otro aporte de energía en el sistema, este se hace en forma de calor (Q_L) al interior de la cámara frigorífica en el evaporador del ciclo de refrigeración.

Recordemos que el objetivo de un sistema frigorífico es evacuar energía, en forma de calor, desde una cámara hacia el exterior. Por lo tanto, el sistema debe tener un proceso de disipación de la energía capturada en la cámara. Este se hace en el condensador, el que generalmente está en el exterior o expuesto al medio ambiente. Esta etapa de disipación es crucial para que el sistema funcione.

Una vez comprendido los ciclos de refrigeración termodinámicos y las energías involucradas en ellos, nos centramos en el enfriamiento del aire de las cámaras frigoríficas.

10.7.3 FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Para enfriar las cámaras frigoríficas se utiliza uno o varios ciclos de refrigeración, el cual captura el calor en la cámara y lo expulsa, mediante el refrigerante, al exterior, donde es disipado en el condensador.

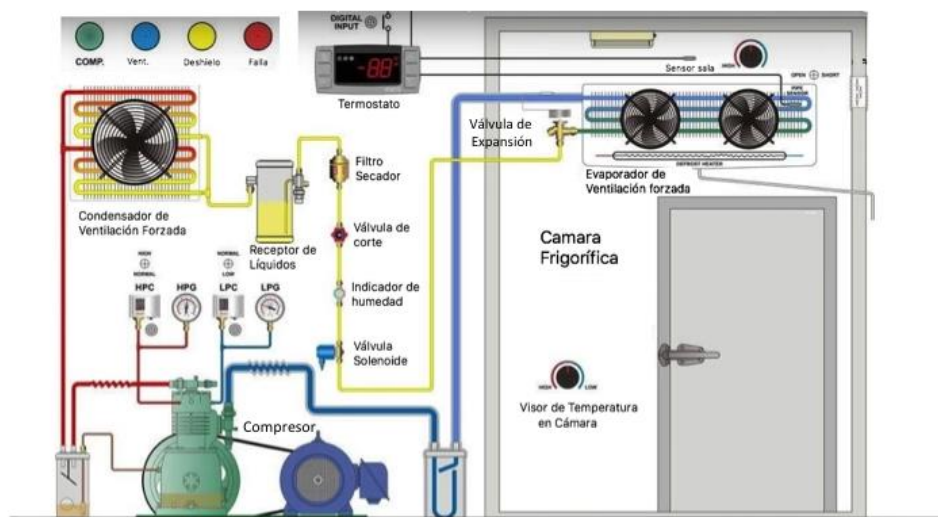
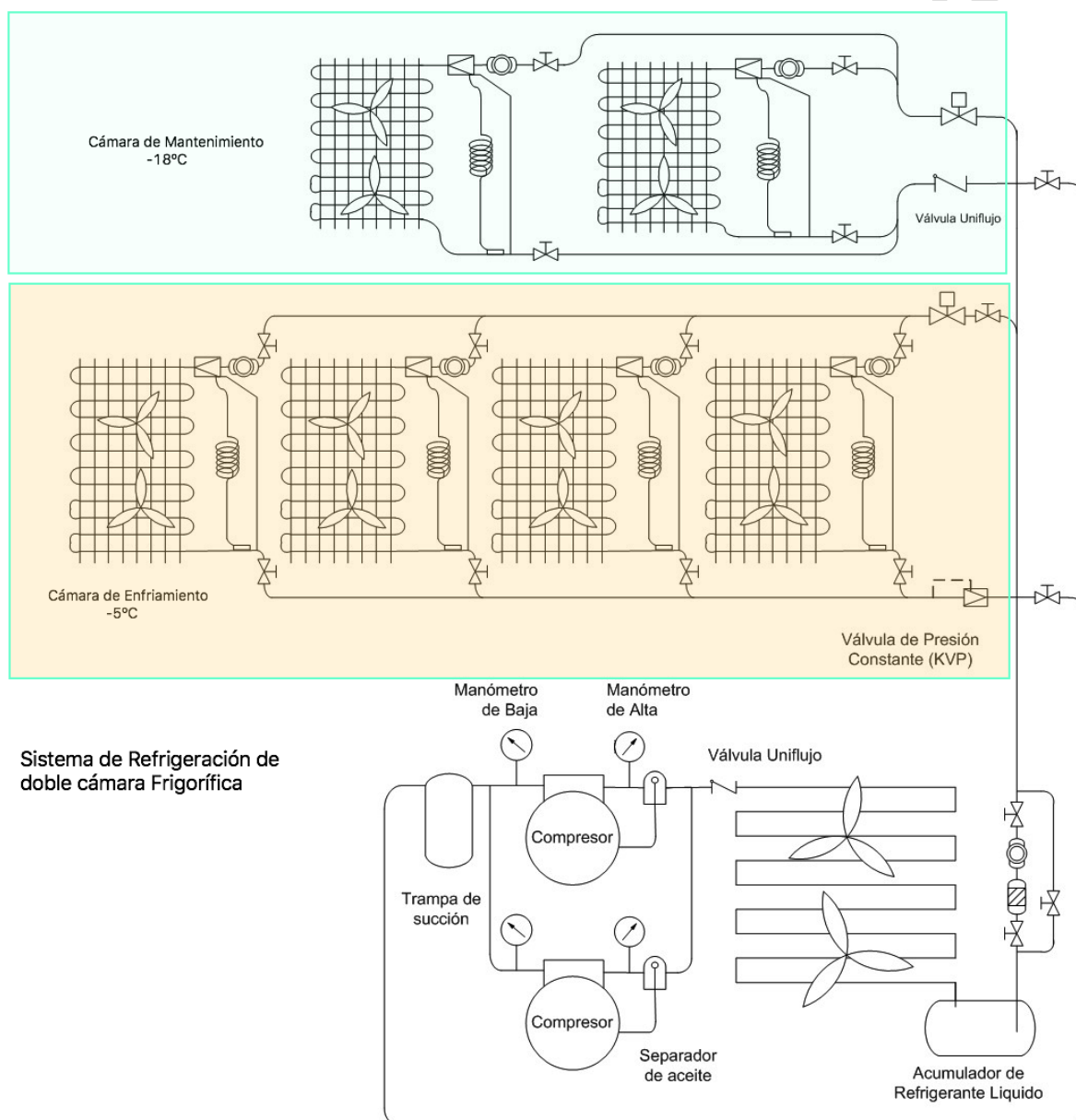


Figura 10.7.3: Diagrama de Cámara Frigorífica

3901 Es habitual encontrarnos con sistema frigoríficos de 2 cámaras, una para enfriamiento y otra para
3902 conservación de los productos en su interior.

3903 En la figura que se muestra a continuación observamos un sistema de refrigeración de dos cámaras
3904 frigoríficas. La de enfriamiento está con una temperatura fijada a -5°C , mientras que las de
3905 conservación a -18°C .

3906 La razón de este tipo de arreglos es optimizar el uso de la energía, de esta manera se extrae el calor en
3907 dos etapas. Evitando tener que enfriar en una sola etapa con un gran gasto energético.



3908
3909 *Figura 10.7.4: Esquema de un Sistema Frigorífico de 2 Cámaras*

3910 10.7.4 CAUSAS DE PÉRDIDA DE EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS FRIGORÍFICOS

3911 La pérdida de eficiencia en los sistemas frigoríficos impacta directamente en los resultados
3912 operacionales de la organización. Los sistemas ineficientes consumen más energía, por lo tanto,
3913 impactan directamente en los costos. La implementación de un sistema de gestión de activos mitiga los
3914 riesgos de pérdidas de eficiencia al alinear las estrategias mencionadas en el capítulo 2, con el aporte de
3915 valor de estos sistemas frigoríficos. La estrategia de operaciones desarrolla tareas de control y
3916 procedimientos que minimizan las entradas de calor a las cámaras, la estrategia de mantenimiento
3917 incluye actividades de control y tareas preventivas y correctivas que salvaguarden la función operativa
3918 de los sistemas frigoríficos, la estrategia de recursos humanos entrega las capacidades y habilidades del
3919 personal requeridas para estas actividades críticas para el buen desempeño de todos los sistemas, la
3920 estrategia de Logística y Materiales entrega los insumos, repuestos y elementos en el tiempo que son
3921 requeridos por la operación. De esta manera un Sistema de Gestión de Activos entrega las herramientas
3922 necesarias para mantener la operación de estos sistemas de manera eficiente.

3923 Para entender la eficiencia energética en los sistemas frigoríficos es importante destacar que la
3924 transferencia de calor está directamente relacionada con las temperaturas de los medios de
3925 transferencia. Por lo tanto, en medios que tienen la misma temperatura no hay transferencia de calor.
3926 Esto condiciona la eficiencia de los sistemas de transferencia de calor en general y de las cámaras
3927 frigoríficas en particular.

3928 **Programación de la Temperatura Interior de la Cámara:** La temperatura al interior de una cámara
3929 frigorífica se puede fijar, mediante un termostato programable, lo que hará que el ciclo de refrigeración
3930 opere hasta alcanzar la temperatura programada al interior de la cámara.

3931 **Ingresos de Calor al interior de la Cámara:** Es importante evitar el ingreso de calor al interior de la
3932 cámara frigorífica. Estas son ganancias de energía en forma de calor no deseadas en la cámara y
3933 provienen de varias fuentes:

- 3934 • **Aberturas de puertas de la cámara:** Cada vez que se abre una puerta de una cámara frigorífica
3935 se produce una ganancia de calor por intercambio de aire frío, desde el interior, con aire
3936 caliente desde el exterior. Es importante planificar las aperturas de las puertas para evitar los
3937 intercambios de aire.
- 3938 • **Pérdidas de aislación térmica:** La aislación térmica constituye un componente estructural
3939 importante en las cámaras. Es importante mantener la integridad de las aislaciones térmicas,
3940 realizar inspecciones periódicas y reponerlas integralmente después de cada intervención. Fallas
3941 en la aislación térmica constituyen ganancias de calor continuas en las cámaras, afectando
3942 significativamente la eficiencia de estos sistemas.
- 3943 • **Productos en refrigeración:** Si bien el objetivo de las cámaras frigoríficas es bajar y mantener las
3944 temperaturas de los productos en su interior, es importante conocer que estos productos
3945 también constituyen ganancias de calor cuando ingresan a la cámara. Una buena planificación
3946 en el almacenaje afecta positivamente no sólo la eficiencia de la cámara, sino también a
3947 mantener la temperatura de otros productos ya almacenados en su interior. Ejemplo, ingresar
3948 productos durante la noche o temprano durante el día.

- 3949 • **Luminarias, sistemas eléctricos y otros:** todos los dispositivos eléctricos y electrónicos disipan
3950 calor durante su funcionamiento. Algunos consideran aislación térmica en su diseño para
3951 cámaras frigoríficas. Es importante tener en cuenta estas ganancias que si bien pueden ser
3952 marginales en su aporte individual, podrían ser significativos en la suma total.

3953 **Obstrucciones de las superficies de transferencia de calor de evaporadores y condensadores:** Las
3954 superficies de transferencia de calor en serpentines y radiadores deben estar limpias. Los depósitos de
3955 hielo, polvo, calcáreos, grasas, basuras y otros actúan como aislantes térmicos dificultando la
3956 transferencia de calor.

3957 **Obstrucciones al Flujo de Aire Forzado:** El flujo de aire forzado, mediante el uso de ventiladores,
3958 favorece la transferencia de calor mediante dos mecanismos. El primero es la cantidad mayor de aire en
3959 contacto con las superficies de transferencia y el segundo es generando turbulencia en el flujo. Los flujos
3960 turbulentos favorecen significativamente la transferencia de calor. Es por ello que resulta
3961 absolutamente necesario mantener en óptimas condiciones los evaporadores y condensadores para el
3962 flujo de aire.

3963 10.7.5 GESTIÓN DE OPERACIONES

3964 El operador debe controlar varios parámetros operacionales de las cámaras de frío.

3965 Temperaturas al interior de la cámara: Es necesario controlar la temperatura en el interior de la cámara
3966 en cada momento. Toma especial relevancia controlar la respuesta de la cámara a las variaciones
3967 producto de aberturas de puertas e ingreso de nuevos productos para refrigerar. Las respuestas lentas
3968 pueden ser el resultado de pérdidas de eficiencia en los sistemas de refrigeración por las razones
3969 expuestas más arriba.

3970 **Presión de Refrigerante:** Aunque los sistemas cuentan en su mayoría con sistemas de control
3971 automático, en donde la presión de refrigerante es uno de esos parámetros, es necesario controlar las
3972 presiones periódicamente por posibles ocurrencias de fallas en los sistemas de control.

3973 **Flujos de Aire en evaporadores y Condensadores:** Dada la posibilidad de obstrucciones en los
3974 intercambiadores es importante inspeccionar visualmente los canales de paso de aire en ambos
3975 dispositivos periódicamente, con el objetivo de detectar tempranamente posibles pérdidas de eficiencia
3976 en la transferencia de calor por obstrucciones en canales, rejillas, aletas, tubos u otros según sea el caso.

3977 **Inspecciones termográficas:** Esta es una técnica de análisis muy usada en la actualidad, con ella se
3978 puede detectar pérdidas de eficiencia en radiadores, condensadores y otros sistemas, además de
3979 obstrucciones y otras fallas.



Figura 10.7.5: Imagen Termográfica de Condensador Obstruido

En la figura anterior se puede observar una imagen termográfica de un condensador con pérdida de eficiencia por obstrucciones. Los colores de la imagen debieran ser homogéneos, sin sectores más oscuros.

Verificación de Hermeticidad: La hermeticidad de las cámaras de frío es una condición necesaria para evitar las pérdidas de eficiencia. Para ello es recomendable utilizar técnicas de monitoreo predictivo por ultrasonido aerotransportado u otra. Esta técnica consiste en instalar un emisor de señales de ultrasonido al interior de la cámara y con un medidor de ultrasonido o sonómetro verificar fugas de señales desde el interior de la cámara.



Figura 10.7.6: Equipo para Detección de Hermeticidad por Ultrasonido

Si existe fuga de señales de ultrasonido hacia el exterior es probable que la hermeticidad de la cámara esté comprometida. Es recomendable realizar esta prueba semestralmente.

10.7.6 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Dado que existe una probabilidad de ocurrencia de incidentes, asociados a la operación de las cámaras frigoríficas, es importante contar con algunos elementos de seguridad que mitigan o eliminan las consecuencias de este tipo de incidentes.

3999 **Cerraduras y puertas:** Las cámaras de frío deben contar con puertas de pánico con apertura desde el
4000 interior. Las cerraduras deben contar con inspecciones periódicas y las salidas nunca deben ser
4001 obstruidas. Dada la hermeticidad de las cámaras existe una alta probabilidad de atrapamiento en el
4002 interior de la cámara.

4003 **Alarmas de Atrapamiento Interior:** Se recomienda que las cámaras de frío cuenten con alarmas de
4004 atrapamiento interior del tipo lumínica y sonora. Ambas deben funcionar de manera independiente y el
4005 personal autorizado para el ingreso a las cámaras debe contar con entrenamiento adecuado para el uso
4006 de estas alarmas.

4007

CONSULTA PÚBLICA

4008 10.8 SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

4009 10.8.1 UNIDAD MANEJADORA DE AIRE (UMA)

4010 Dentro del sistema de ventilación y climatización uno de los principales equipos que se pueden
4011 encontrar son las Unidades Manejadores de Aire (UMA), conocidas también como climatizadores.

4012 Una unidad manejadora de aire es un equipo que permite la ventilación y climatización de un recinto,
4013 inyectando aire y cumpliendo las siguientes funciones:

4014 1. Control de la temperatura del aire: calentamiento o enfriamiento.

4015 2. Control del caudal de aire inyectado.

4016 3. Filtrado de partículas e impurezas del aire.

4017 4. Control de la humedad del aire inyectado.

4018
4019 Existen ciertos modelos de unidades manejadoras de aire que, además del filtro de partículas e
4020 impurezas, permiten eliminar agentes biológicos nocivos para la salud humana por medio de luz
4021 Ultravioleta (UV).

4022 En términos concretos, una UMA es un equipo que trata el aire exterior, cambiándole ciertas
4023 propiedades físicas, pero es un equipo que no produce frío o calor por sí mismo. Debido a lo anterior, es
4024 importante señalar que una UMA podría estar sólo renovando el aire de un recinto, circulando el aire
4025 exterior, filtrándolo e inyectándolo a una determinada presión, y sin haber modificado su temperatura o
4026 humedad. En el mercado se pueden encontrar algunos modelos de UMA que permiten calentar el aire
4027 por medio de resistencias eléctricas, sin embargo, la eficiencia energética es muy baja, por lo que esta
4028 forma de calentar el aire no se recomienda.

4029 La siguiente figura muestra el diagrama del proceso de tratamiento de aire realizado por una UMA.

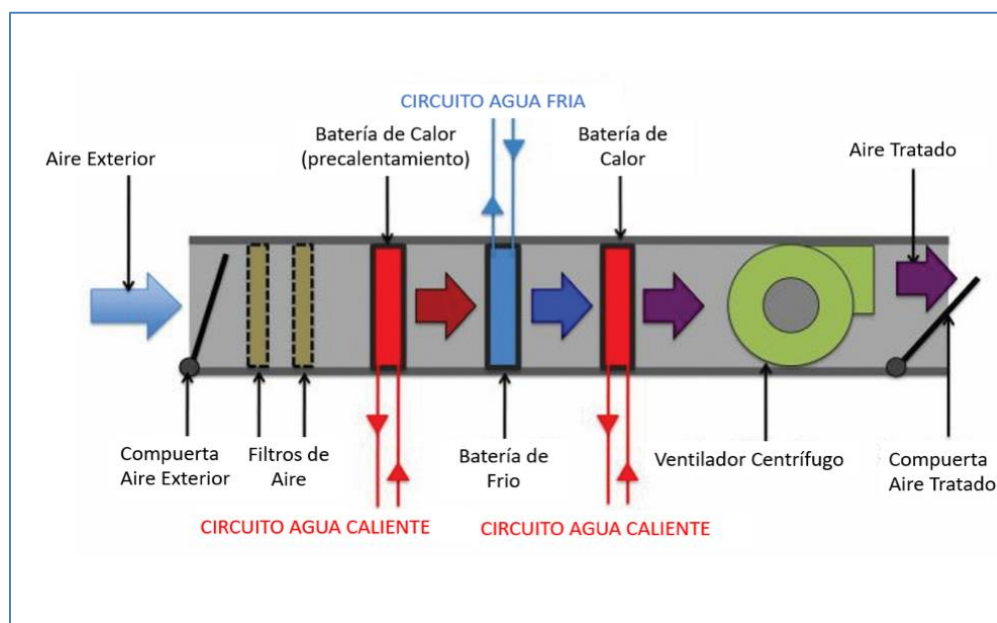


Figura 10.8.1: Proceso de tratamiento de aire con UMA

10.8.2 COMPONENTES DE LA UNIDAD MANEJADORA DE AIRE

El mercado tiene una oferta de UMA muy amplia, con modelos de diversos tamaños, potencias y equipamiento. A continuación, se describirán brevemente los componentes de una UMA que típicamente encontraremos en el mercado.

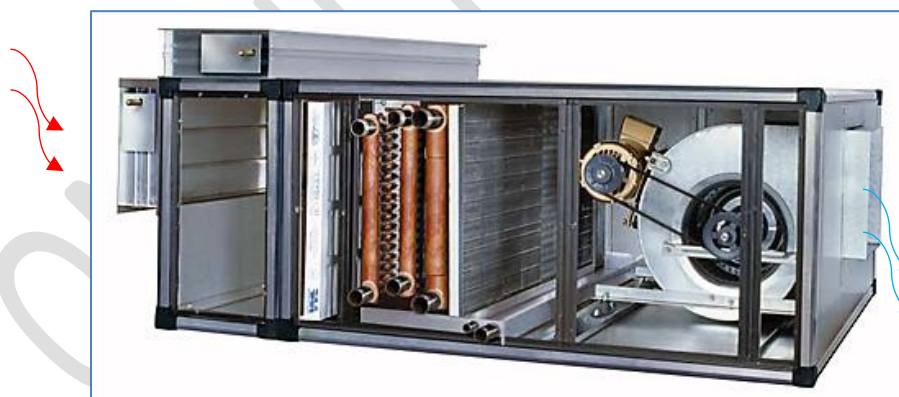


Figura 10.8.2: UMA con sus componentes principales a la vista (sin paneles laterales)

Componentes Externos

- **Carcasa:** Es la caja o envoltente metálica que alberga los componentes de la unidad manejadora de aire. A su vez, la carcasa está formada por:
 - Estructura: Perfilaría metálica que da soporte, permite el transporte y la sujeción de los componentes interiores.
 - Paneles laterales: Paneles que permiten la aislación térmica, acústica y el sello estanco de la UMA.
 - Puertas: Son necesarias para todas las labores de inspección y mantenimiento de los componentes, incluyendo el recambio de filtros y la limpieza al interior de la UMA. Son de los mismos materiales que los paneles laterales, pero además incluyen las bisagras, manillas y sellos estancos. Adicionalmente podrían tener un dispositivo de seguridad que detenga el ventilador en caso de apertura de la puerta.

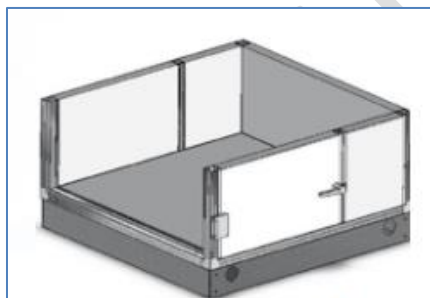


Figura 10.8.3: Ejemplo de carcasa de una UMA

- **Bandeja Recolectora Condensados:** Para la operación de enfriado del aire, será necesario que la UMA cuente con una bandeja recolectora del agua generada por condensación. La bandeja se conecta mediante tuberías hacia el circuito de recolección de condensados, conduciendo el agua por gravedad hacia un desagüe o un circuito de recuperación de agua (limpia).



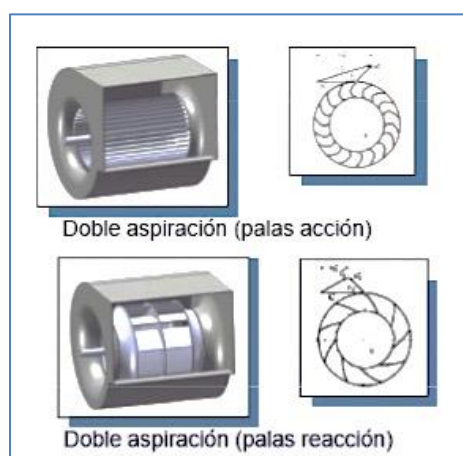
Figura 10.8.4 Ejemplo de bandeja recolectora de condensados de una UMA

4061 Componentes Internos

4062 **Ventilador:** Permiten generar el flujo de aire, haciéndolo pasar a través de los diferentes componentes
4063 de la UMA, e impulsarlo a la salida con la presión requerida.

4064 El ventilador que más frecuentemente encontraremos en una UMA es el de tipo centrífugo de doble
4065 aspiración, debido a que este tipo de ventiladores generan una mayor presión efectiva en el sistema de
4066 ventilación. La presión efectiva es muy importante, ya que el aire debe pasar a través de filtros e
4067 intercambiadores que implican pérdidas de presión.

4068 En los ventiladores de doble aspirado la forma de las palas puede ser del tipo acción o del tipo reacción.



4069
4070 *Figura 10.8.5: Ventiladores de doble aspiración con palas acción y con palas reacción*

4071 A continuación, se muestra un cuadro comparativo con las ventajas de cada tipo de palas de
4072 ventiladores de doble aspiración:

4073

Palas Acción - Ventajas	Palas Reacción - Ventajas
• Para un mismo caudal, funciona a velocidad relativamente baja en comparación con otros tipos. • Ventilador de menor tamaño.	• Mayor rendimiento. • Menor variación de caudal para cualquier variación de presión en el sistema. • Más silenciosas que otros tipos.

4074 *Tabla 10.8.1: Cuadro comparativo de ventajas ventiladores doble aspiración, palas de acción vs palas de*
4075 *reacción*

4076 **Motor:** Es el componente que da movimiento al ventilador. Se utilizan motores eléctricos de inducción
4077 con jaula de ardilla, con alimentación trifásica en baja tensión (ver capítulo 6: Motor Eléctrico).

4078 La transmisión se logra por medio de poleas y correas trapezoidales, las que se ensamblan en los ejes
4079 del motor y del ventilador. A su vez, las correas se regulan mediante un patín tensor montado bajo el
4080 motor.

Baterías de Frío/Calor: Las baterías de frío o de calor son básicamente intercambiadores de calor del tipo aire-agua, y están conformados por serpentines con aletas, por los cuales circula agua (o algún otro fluido térmico, incluso vapor). Cualquier unidad manejadora de aire tendrá al menos una batería de frío o de calor. Lo más frecuente es encontrar unidades con una batería de frío y al menos una batería de calor. Existen UMA con una segunda batería de calor para recalentar el aire que podría enfriarse luego de realizado el control de humedad (proceso que se explica en el siguiente punto). El fluido que circula por la batería de frío comúnmente proviene de un circuito de agua fría, enfriado por un chiller (o circuito de refrigeración, ver capítulo 10.7: Sistema de Refrigeración). Por otro lado, el agua caliente que circula por la batería de calor comúnmente proviene de una caldera (o circuito agua caliente de climatización, ver capítulo 8: Calderas).

Las tuberías de agua que se conectan a los serpentines, ya sea para enfriar como para calentar el aire, deben tener válvulas motorizadas de manera que la temperatura de agua sea proporcional a lo requerido por los termostatos o entalpímetros que controlan el sistema.

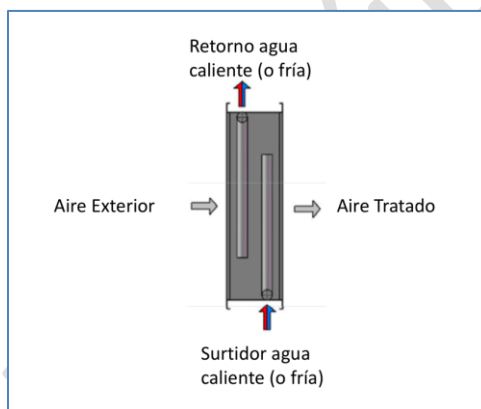


Figura 10.8.6: Intercambio de calor aire-agua en una batería de UMA

Actualmente los intercambiadores se fabrican con tuberías de cobre, y sus aletas mayoritariamente son de aluminio o de cobre. Aquellos con aletas de acero no se recomiendan porque tienen una vida útil muy corta debido a la corrosión.

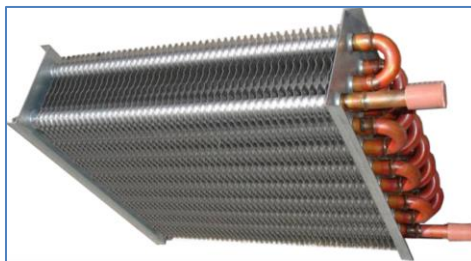


Figura 10.8.7: Ejemplo de batería de frío/calor con tubería de cobre y aletas de aluminio

4102 **Control de Humedad Relativa del Aire:** Como se señaló anteriormente, las UMA pueden trabajar
4103 enfriando el aire o calentándolo pero, además, otra de sus funciones es el control de la humedad
4104 relativa del aire tratado. En procesos industriales específicos podría requerirse el control de la humedad
4105 del aire.

4106 En operación de invierno, es decir, cuando se calienta el aire es necesario aportar humedad (vapor de
4107 agua) al aire tratado. Esto se logra por medio de humectadores de aire. Existen diversos métodos para
4108 humectar el aire, pero se puede hablar de tres configuraciones:

- 4109 • **Humectadores de vapor:** logran la generación del vapor mediante electrodos o resistencias
4110 sumergidas. Es el sistema más recomendado, ya que se introduce vapor por medio de un
4111 inyector de vapor y el aire se humecta en contacto directo con el vapor, evitando zonas
4112 húmedas en el interior de la UMA.
- 4113 • **Humectadores por pulverización:** son ideales para grandes aportes de humedad, sin embargo,
4114 requieren mucha mantención y no son recomendables por la posibilidad de transmitir gérmenes
4115 contenidos en el agua, tales como la legionella.
- 4116 • **Humectadores de panel celular:** distribuyen microgotas de agua a través de todo un panel,
4117 humectando el aire, pero produciendo un enfriamiento de este. No son recomendables por la
4118 posibilidad de transmitir gérmenes contenidos en el agua, tales como la legionella.

4119 **Filtros:** Su función es la de eliminar o retener las partículas que puedan ser transportadas por el aire
4120 hacia los recintos a climatizar. Existen muchos tipos de filtros, desde los más “gruesos” para retener
4121 partículas sólidas de mayor tamaño, hasta los más “finos”. Además, existen filtros de absorción, como
4122 los de carbono activado para control de olores, o para retener gases contaminantes. También existen los
4123 filtros de alta eficiencia o HEPA (High Efficiency Particulate Air), los cuales atrapan el 99,9% de las
4124 partículas con tamaños sobre 0,3 micras. Si bien en Chile no existe normativa sobre calidad de aire
4125 interior en cuanto a concentración de partículas o gases, se utiliza frecuentemente la normativa
4126 norteamericana (ASHRAE 62.1) para determinar los requisitos de calidad del aire para cada tipo de
4127 recinto, en particular para la definición de la combinación de filtros a utilizar.

4128 **Compuertas:** Existen varios tipos disponibles para las posiciones de las bocas de aspiración, expulsión y
4129 descarga de acuerdo con la posición más apropiada para la instalación específica. Para la instalación de
4130 las unidades en el exterior, son particularmente recomendables las configuraciones con compuertas
4131 montadas en la pared interna de la central; de esta forma, tanto la compuerta como el servomando
4132 acoplado a la misma quedan protegidos de la intemperie.

4133 10.8.3 GESTIÓN DE OPERACIONES

4134 Una correcta operación del sistema de climatización por aire mediante el uso de unidades manejadoras
4135 de aire busca entregar el caudal de aire tratado, a la temperatura y humedad definidas, minimizando el
4136 consumo de calor (o frío) aportado por el circuito de la caldera (o chiller si es para frío) y minimizando el
4137 consumo eléctrico del motor (ventilador). Adicionalmente podemos realizar ciertas mediciones para
4138 poder medir la operación con respecto a ciertos indicadores.

4139 La forma más directa para verificar la operación del sistema de climatización es mediante el uso de una
 4140 campana de medición de caudal de aire. Este equipo, además, puede realizar mediciones de
 4141 temperatura y humedad relativa.



4142
 4143 *Figura 10.8.8: Ejemplo del uso de campana de medición de caudal de aire*

4144 En cuanto a la operación de la unidad manejadora de aire se pueden realizar mediciones de consumo y
 4145 correcta operación de los motores (ver capítulo 6: Motor Eléctrico). Se puede medir también la
 4146 temperatura del surtidor y retorno del agua (o fluido térmico) así como su caudal. El panel controlador
 4147 de los equipos más modernos recibe todas las medidas indicadas anteriormente y realiza una gestión
 4148 sobre ellos.

4149 **10.8.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

4150 El rol del equipo de mantenimiento es mantener la función operativa de los activos. Para los sistemas de
 4151 ventilación la función consiste en mantener las condiciones atmosféricas de los recintos a temperaturas,
 4152 presiones y humedades relativas determinadas por un intervalo de control o rango de operación,
 4153 dependiendo del contexto operacional del proceso. Cualquier punto de operación por sobre o debajo de
 4154 estos rangos de operación debe ser consideradas como fallas funcionales y deben ser atendidas por los
 4155 equipos de mantenimiento. Para ello es importante considerar los siguientes ítems:

4156 **10.8.4.1 Árbol de Equipos.**

4157 Para tener claridad del universo de activos involucrados en la operación de los sistemas. A continuación
 4158 se propone un árbol de equipos típico para sistemas de UMA.

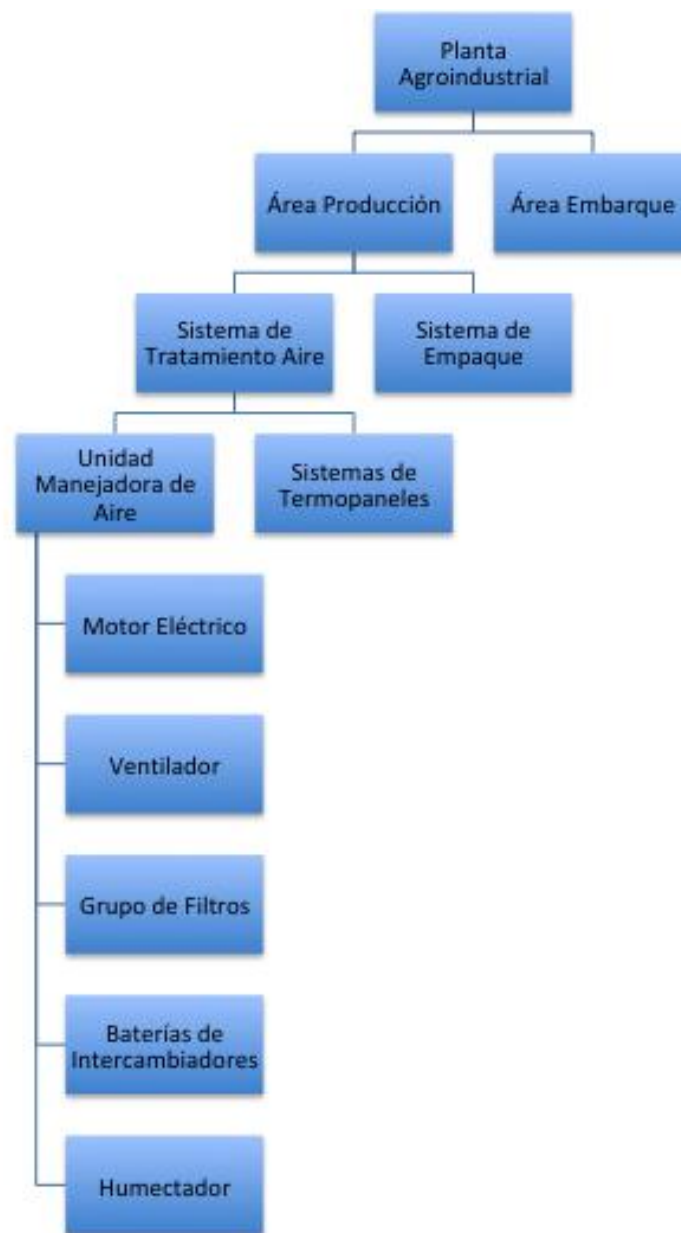


Figura 10.8.9: Árbol de Equipos sistemas UMA

4163 10.8.4.2 Catálogo de Fallas de una UMA.

4164 A continuación, se presenta un catálogo de fallas tipo para una UMA. Considerar que se pueden definir
4165 otros modos de falla en la empresa en particular, las que deben sumarse a lo indicado en la tabla
4166 siguiente:

SINTOMA	AFECTA EFICIENCIA ENERGÉTICA	CAUSA	ACCION
El motor no arranca.	Sí	No llega tensión.	Comprobar la instalación eléctrica, tanto de potencia como de control.
Consumo del motor mayor que el nominal.	Sí	El caudal es superior al nominal.	Ajustar el caudal, reduciendo la velocidad de giro del ventilador mediante cambio de poleas o variador de velocidad.
Ruido en el arranque de los motores.	Sí	Las correas patinan.	Comprobar el tensionado de transmisión (en motores de 15 KW o más es algo normal).
	No	No se ha quitado la fijación del conjunto motor-ventilador.	Quitar la fijación del conjunto motor-ventilador.
Caudal de aire inferior al nominal.	Sí	El ventilador gira en sentido contrario.	Cambiar el sentido de giro del motor.
	Sí	La compuerta de toma de aire esta cerrada.	Abrir la compuerta de toma de aire.
	Sí	La instalación tiene más pérdida de carga de la nominal.	Comprobar el estado de filtros y la pérdida de carga en conductos.
	Sí	La velocidad de giro del ventilador es inferior a la nominal.	Aumentar la velocidad de giro del ventilador cambiando las poleas o mediante un variador de velocidad y comprobar que el consumo del motor se encuentre siempre inferior al nominal.
Las prestaciones de las baterías (de frío o de calor) son inferiores a las esperadas.	Sí	La entrada de fluido caloportador se ha conexionado a la salida.	Comprobar las conexiones de las tuberías y modificar las conexiones incorrectas.
	Sí	Existe aire en los tubos de la batería.	Purgar la batería.
Existe arrastre de gotas en las baterías de frío.	Sí	Velocidad de giro del ventilador demasiado alta.	Regular el caudal, disminuyendo la velocidad de giro del ventilador mediante cambio de poleas o variador de velocidad.
La bandeja recolectora de condensados no desagua.	No	La depresión del ventilador impide evacuar el agua de la bandeja.	Poner un sifón de las dimensiones adecuadas.
Hay arrastre de gotas en el humectador.	Sí	El caudal de aire es superior al nominal.	Regular el caudal disminuyendo la velocidad de giro del ventilador, mediante cambio de poleas o variador de velocidad.
	Sí	El caudal de agua que impulsa la bomba a los paneles es excesivo.	Reducir el caudal de agua actuando sobre la llave de paso.

Tabla 10.8.1: Catálogo de Fallas sistemas UMA

4169 En muchas ocasiones se puede llegar a pensar en una falla, o mala operación de una UMA, debido a que
4170 por los difusores del recinto “sale poco aire”. La suposición anterior muchas veces es incorrecta: la UMA
4171 podría estar operando de forma óptima, pero debido a las presiones relativamente bajas que utilizan
4172 estos sistemas, las pérdidas de carga o fugas a lo largo de la distribución del aire en los ductos pueden
4173 ser las causantes de una operación deficiente del sistema de climatización.

4174 Para entender lo anterior, se podría hacer una analogía entre la red de flujo de aire y una red hidráulica,
4175 en donde la existencia de codos excesivos, tuberías de sección muy estrecha, reducciones de sección,
4176 roce interior, suciedad o fugas van sumando una pérdida de presión en el sistema.

4177 10.8.4.3 Plan de Mantenimiento para UMA.

4178 A continuación, se presenta un plan de mantenimiento preventivo tipo para una UMA:

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL					Primer Semestre																							
Tareas	Frecuencia	Duración hrs	Recursos	Costos	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
					Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4
Limpieza de los filtros de aire permanentes. Se deben sustituir los filtros desechables.	Mensual	4			✓				✓				✓				✓				✓				✓			
Verificación de la tensión, alineación y estado de las correas de los ventiladores.	Mensual	2				✓			✓				✓				✓				✓					✓		
Limpieza de la voluta de los ventiladores.	Mensual	4					✓			✓				✓				✓				✓					✓	
Ajuste de todos los tornillos de las tapas	Mensual	0.5				✓			✓				✓				✓				✓					✓		
Limpieza de la bandeja de la batería, la manguera y el sifón del agua de condensados.	Mensual	2						✓				✓				✓				✓					✓			✓
Inspección del sistema para detectar condiciones anormales. Se recomienda el uso de la hoja de lectura para registrar las condiciones de la unidad. Una hoja de lectura completa es una herramienta valiosa para el personal de la asistencia técnica.	Mensual	2				✓				✓				✓				✓							✓			
Verificación de los tornillos de fijación de los cojinetes y poleas, ajústelos si es necesario.	Trimestral	1						✓										✓										
Limpieza de los serpentines de la batería.	Trimestral	3				✓											✓											
Verificación y registro de las tensiones y corrientes de servicio de los motores de los ventiladores.	Trimestral	1						✓										✓										
Prueba de los controles de seguridad.	Trimestral	1					✓											✓		✓				✓				✓
Verificación y registro de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo en la entrada y salida de la batería.	Trimestral	2				✓											✓			✓								
Retiro de los paneles del gabinete y eliminación de óxido.	Anual	3																	✓									
Recambio del aislamiento térmico que presente defectos.	Anual	2																	✓									
Inspección de los tubos del serpentín y limpieza, si es necesario.	Anual	3																										
Retoque de las pinturas externas e internas, si es necesario.	Anual	2																										

4179

4180 *Tabla 10.8.2: Plan de mantenimiento preventivo de una UMA*

4181 En el plan de mantenimiento mostrado en las tablas 10.8.2 se debe agregar el nombre del recurso, que
4182 es propio de cada empresa, ya sea el nombre de la persona encargada, la empresa de servicios que hace
4183 el servicio de forma externa, un código, o el nombre de una cuadrilla. En cuanto al costo también es
4184 propio de cada organización, porque varía en función de la industria, la localidad, el año, la divisa. Sin
4185 embargo, es importante que las organizaciones asignen la totalidad de los costos por cada actividad y se
4186 actualice regularmente.

4187 10.8.5 ENERGÍA Y CONSEJOS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

4188 Desde el punto de vista de la eficiencia energética podemos mejorar la operación de una UMA mediante
4189 diversos conceptos:

- 4190 • **Filtros:** Para una mayor eficiencia, se ordenan dentro de la UMA los filtros de más gruesos a más
4191 finos (tomando como referencia el sentido del flujo del aire). La limpieza de los filtros es
4192 fundamental para que el sistema opere de forma eficiente, filtros sucios reducen de forma
4193 significativa el desempeño del equipo.
- 4194 • **Correcta selección del ventilador y palas:** es importante tener en cuenta la selección del
4195 ventilador y tipo de palas. Existen palas de mayor eficiencia en cuanto a caudal o presión, pero
4196 muchas veces puede ir en desmedro de la emisión de ruido del equipo. Es muy importante
4197 considerar los diferentes perfiles de carga de uso del equipo previo a la selección de las palas.
- 4198 • **Limpieza de Baterías:** El intercambio de energía (calor) se produce entre el aire y las aletas de
4199 las baterías, por lo que la limpieza de estas es fundamental para maximizar el intercambio
4200 energético.
- 4201 • **Correas motor-ventilador:** Las correas son las transmisoras de la energía mecánica desde el
4202 motor hacia el ventilador. Correas con baja tensión, o con grados importantes de desgaste
4203 (deformación) reducen la eficiencia de los equipos. Revise de acuerdo al plan de mantenimiento
4204 el estado y tensión de las correas.

4205 Por último, es importante recordar que la eficiencia energética de un sistema de climatización no sólo
4206 dependerá de la operación de los equipos involucrados, sino que además de la correcta gestión de los
4207 recintos y su demanda. El aspecto cultural es fundamental, es muy relevante involucrar a todo el
4208 personal y a los usuarios de los recintos en poder mantener la temperatura y calidad del aire deseadas,
4209 por ejemplo, evitando tener puertas y ventanas que dan al exterior abiertas, evitando dejar funcionando
4210 el sistema de climatización en horarios que no son necesarios (como fines de semana, días no laborales
4211 o fuera de horario laboral, entre otras).

4212

11 REFERENCIAS

1. www.rae.es
2. SII; www.sii.cl/estadisticas/empresas_tamano_ventas.htm
3. ISO 55000:2014, ISO 55001:2014 Asset management
4. Reporte Mensual Sector Energético, Comisión nacional de energía, mes de julio de 2018;
https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/RMensual_v201807.pdf
5. Promulgación del Protocolo de Kyoto;
<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=235585&idParte=0>
6. Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas;
<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1088802&idParte=0>
7. 279-Motores Eléctricos
<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/home>
8. Características motor
<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico/2-7-eje>
9. Banco Interamericano de Desarrollo
EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA
Manual de eficiencia energética
Primera edición (año 2011)
<http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2011/08952.pdf>
10. <http://mantenimientoenlatinoamerica.com/pdf/ML%20Volumen%207-2.pdf>
11. Revista Electroindustria, Junio 2015. Mención AChEE
12. BENEFICIOS DE UTILIZAR LED; <http://nican.cl/beneficios-de-utilizar-led/>
13. Analysis of energy saving in industrial LED lighting: A case study;
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/45442/53687>
14. Pequeñas y Medianas Empresas;
http://www.sii.cl/contribuyentes/empresas_por_tamano/pymes.pdf
15. Guía “Medición y Verificación en la Gestión de Proyectos de Eficiencia Energética” área Agroindustria, Agencia Chilena de Eficiencia Energética, primera edición, agosto 2015.
16. Guía para Calificación de Consultores en Eficiencia Energética, AChEE.
17. <http://como-funciona.co/una-bomba-centrifuga/>
18. Iluminación industrial pública: una evolución hacia la eficiencia energética y la seguridad; ACEE, 21 de septiembre 2017, fuente Revista Electroindustria.

4247 **12 ANEXOS**

4248 **12.1 SISTEMA GESTIÓN DE ACTIVOS: LISTAS DE VERIFICACIÓN OPERACIONAL.**

Guía tipo inspección operacional equipo funcionando			
Sistemas de Calderas, Motores eléctricos, sistemas de bombas, aire comprimido y refrigeración			
	Nombre	Firma	Fecha
Autorización Jefe de sala			
	Si	No	No aplica
Conocer los riesgos que existen en un sistema de caleras			
Conocer los riesgos que existen en motores			
Conocer los riesgos que existen en circuitos de			
Conocer los riesgos que existen en sistemas de bombas			
Conocer los riesgos que existen en sistemas aire comprimido			
Conocer los riesgos que existen en sistemas de refrigeración			
Conocer los planes de emergencia			
Conocer simbología y señalética de operación			
Contar con guías de inspección			

Motores eléctricos					
Control operacional diario	Acep	Rech	Valor	Rango operacional	Observaciones
Limpieza de alabes de refrigeración carcasa motor					Se debe realizar aseo periódico del motor
Tapa de ventilador motor en buen estado					Este elemento debe estar siempre montado
Temperatura máxima de trabajo					No debe superar los 70°C, motor en riesgo
Corriente del motor					Según la potencia de diseño
Vibraciones motor					Vibraciones (RMS[mm/s]), según norma ISO 10816-3,

4249

4250

CALDERAS					
Control operacional diario	Acep	Rech	Valor	Rango operacional	Observaciones
Caudal de agua a la entrada.					Valores máximos y mínimos permitidos
Caudal de agua o vapor a la salida.					Valores máximos y mínimos permitidos
Temp. de agua a la entrada.					Valores máximos y mínimos permitidos
Temp. del agua o vapor a la salida, según corresponda.					Valores máximos y mínimos permitidos
Presión de Trabajo.					Valores máximos y mínimos permitidos
Saturación de vapor.					Valores máximos y mínimos permitidos
Flujo de aire al ventilador de tiro forzado.					Valores máximos y mínimos permitidos
Caudal de combustible.					Valores máximos y mínimos permitidos

Sistemas de bombas					
Control operacional diario	Acep	Rech	Valor	Rango operacional	Observaciones
Condición operacional bombas de impulsión					Caudal de salida
Condición Motor bomba de impulsión					Velocidad de trabajo bomba
Temperatura Motor					No debe superar los
Condición bomba de impulsión					
Temperatura Bomba					No debe superar los
Válvulas de alimentación					
Válvulas de descarga					
Flujómetro					

Aire comprimido					
Control operacional diario	Acep	Rech	Valor	Rango operacional	Observaciones
Presiones de acumuladores					Presión máxima de un sistema de aire comprimido 150PSI
Unidad compresoras					Presiones de trabajo
Filtros Unidad Compresoras					Fechas de último
Nivel de lubricante Unidad Compresoras					Horas de trabajo del lubricante
Condición válvulas Unidad Compresoras					Sin filtración y en buen estado
Condición de ramales de cañerías					Sin filtración y en buen estado

REFRIGERACION					
Control operacional diario	Acep	Rech	Valor	Rango operacional	Observaciones
Evaporador					Control de temperaturas y presión
Bomba de alimentación sistema					Control de flujos de trabajo
Unidad compresora					Control de temperaturas y presión
Condensador					Control de temperaturas y presión
Tanque de refrigerante					Control de temperaturas y presión
Valvula termostaticas					Control de temperaturas y presión
Condición de ramales de cañerías					Sin filtración y en buen estado

4252

4253