

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE
FALLAS A SISTEMA DESALINIZADOR DE AGUA DE MAR**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Técnico Universitario en
MECANICA INDUSTRIAL

Alumnos:

Alejandro Andrés Plaza Torres

Profesor Guía:

Sr. Carlos Baldi Gonzalez

2017

RESUMEN

KEYWORDS: ANÁLISIS DE CRITICIDAD, ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS, DESALINIZADOR, ÓSMOSIS INVERSA.

El presente trabajo busca establecer los parámetros y procedimientos a seguir en la implementación de un análisis de criticidad en un sistema desalinizador de agua por ósmosis inversa.

En la ciudad de Antofagasta, II Región de Chile, se encuentra la planta desalinizadora de agua de mar más grande de Sudamérica, La Chimba, la cual abastece de agua potable al 70% de la población de dicha ciudad.

El primer paso en el desarrollo del trabajo será la descripción del proceso de ósmosis inversa y su aplicación en la labor de extraer las sales del agua para su posterior potabilización, detallando etapas del proceso y diferentes aplicaciones.

Luego se dará paso a la descripción de los componentes presentes en cada etapa del proceso, determinando cuáles tienen interés para éste estudio.

Los fundamentos teóricos serán explicados y detallados conforme avanza la investigación, a fin de exponer la metodología a utilizar.

La aplicación de los diferentes análisis y estudios será fundamentada con información otorgada por la empresa, lo que permitirá el desarrollo de éstos y las posteriores conclusiones que se podrán obtener.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

- 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA
- 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
 - 1.2.1. Captación del agua de mar
 - 1.2.2. Pre-tratamiento y acondicionamiento
 - 1.2.3. Desalinización
 - 1.2.4. Post-tratamiento
- 1.3. ÓSMOSIS INVERSA
 - 1.3.1. Conceptos generales
 - 1.3.2. Aplicaciones
 - 1.3.3. Definiciones y conceptos básicos

CAPITULO 2: COMPONENTES DEL SISTEMA

- 2.1. COMPONENTES CORRESPONDIENTES POR SISTEMA
 - 2.1.1. Obra de toma (captación)
 - 2.1.2. Pre-tratamiento
 - 2.1.3. Desalinización
 - 2.1.4. Post-tratamiento
 - 2.1.5. Elevación y conducción agua potable

CAPITULO 3: ANTECEDENTES TEÓRICOS

- 3.1. MANTENIMIENTO
 - 3.1.1. Gestión del mantenimiento
 - 3.1.2. Importancia del mantenimiento
 - 3.1.3. Tipos de mantenimientos
 - 3.1.4. Plan de mantenimiento
- 3.2. HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL
 - 3.2.1. Análisis de criticidad
 - 3.2.2. Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF)
 - 3.2.3. Propósito final

CAPITULO 4: ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF

4.1. COMPONENTES MÁS RELEVANTES Y SUS FALLAS

- 4.1.1. Obra de toma
- 4.1.2. Pre tratamiento
- 4.1.3. Ósmosis inversa
- 4.1.4. Post-tratamiento
- 4.1.5. Elevación

4.2. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS EN LOS COMPONENTES

- 4.2.1. Frecuencia de fallas
- 4.2.2. Impacto operacional
- 4.2.3. Flexibilidad operacional
- 4.2.4. Tiempo promedio para reparar (TPPR)
- 4.2.5. Costo de mantenimiento
- 4.2.6. Impacto en la seguridad
- 4.2.7. Impacto en el medio ambiente

4.3. RESULTADO ANÁLISIS DE CRITICIDAD

4.4. RESULTADOS AMEF

- 4.4.1. AMEF Bomba de alta presión
- 4.4.2. AMEF Motor eléctrico
- 4.4.3. Índice potencial de riesgo bomba de alta presión
- 4.4.4. Índice potencial de riesgo motor eléctrico

4.5. INDICACIONES SOBRE MANTENIMIENTO

- 4.5.1. Bomba de alta presión
- 4.5.2. Motor eléctrico
- 4.5.3. Membranas semipermeables

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO A: PROCESOS DE SEPARACIÓN
- ANEXO B: ANALISIS DE CRITICIDAD
- ANEXO C: IMPACTO A LA PRODUCCIÓN

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Vista general planta La Chimba
- Figura 1-2. Mapa ubicación Planta La Chimba
- Figura 1-3. Esquema del proceso completo
- Figura 1-4. Esquema representativo de un emisario submarino
- Figura 1-5. Esquema de funcionamiento y disposición de la turbina de recuperación de energía
- Figura 1-6. Esquema de una membrana
- Figura 1-7. Esquema de las tres corrientes
- Figura 1-8. Ósmosis como pre-tratamiento de intercambio iónico
- Figura 1-9. Simulación de ósmosis directa con membrana natural
- Figura 1-10. Simulación de ósmosis inversa con membrana natural
- Figura 1-11. Definición práctica de la presión osmótica
- Figura 2-1. Estanque de dosificación
- Figura 2-2. Filtros de cartucho
- Figura 2-3. Bomba de alta presión en línea con motor eléctrico y turbina de recuperación de energía
- Figura 2-4. Bomba de alta presión
- Figura 2-5. Bastidores de membranas
- Figura 2-6. Componentes de un elemento de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral
- Figura 2-7. Estanque dosificación post-tratamiento
- Figura 2-8. Bomba de elevación agua producto
- Figura 3-1. Matriz de criticidad
- Figura 3-2. Niveles de análisis para evaluar criticidad
- Figura 3-3. Estado general de falla
- Figura 4-1. Bombas de captación de agua de mar
- Figura 4-2. Turbina de recuperación de energía (Pelton)
- Figura 4-3. Bastidores donde se realiza el proceso de ósmosis inversa
- Figura 4-4. Desalineación paralela y angular
- Figura 4-5. Problemas durante la operación (incrustación)
- Figura 4-6. Depósito de materia coloidal en la superficie de una membrana

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.	Características de la bomba de alta presión
Tabla 2-2.	Materiales
Tabla 3-1.	Criterio de evaluación sugerido y sistema de clasificación para la frecuencia de los modos de falla
Tabla 3-2.	Criterio de evaluación sugerido y clasificación para la severidad de los efectos
Tabla 3-3.	Criterio de evaluación y sistema de clasificación para la detección de una causa de falla
Tabla 4-1.	Criterios para el cálculo de criticidad
Tabla 4-2.	Frecuencia de fallas y categoría de fallas
Tabla 4-3.	Impacto a la operacional
Tabla 4-4.	Flexibilidad operacional
Tabla 4-5.	Tiempo promedio para reparar
Tabla 4-6.	Costos por mantenimiento
Tabla 4-7.	Impacto de seguridad
Tabla 4-8.	Impacto ambiental
Tabla 4-9.	AMEF Bomba alta presión
Tabla 4-10.	AMEF Motor eléctrico
Tabla 4-11.	AMEF Bomba de alta presión
Tabla 4-12.	AMEF Motor eléctrico

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1.	Histograma de fallas obra de toma
Gráfico 4-2.	Histograma de fallas pre tratamiento
Gráfico 4-3.	Histograma de fallas ósmosis inversa
Gráfico 4-4.	Histograma de fallas post-tratamiento
Gráfico 4-5.	Histograma de fallas elevación
Gráfico 4-6.	Diagrama de barras detallando niveles de criticidad
Gráfico 4-7.	Diagrama de Pareto bomba de alta presión
Gráfico 4-8.	Diagrama de Pareto motor eléctrico

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

AMEF	: Análisis de modos y efectos de fallas potenciales
API	: Instituto Americano del Petróleo
API 682	: Sistema de sellado de ejes para bombas centrífugas y rotativas
ERT	: Turbinas de recuperación de energía
IPR	: Índice potencial de riesgo
PEEK	: Polieter éter cetona (plástico de ingeniería)
SDI	: Índice de densidad de sedimentos
TFC	: Composites de capa fina
TPPR	: Tiempo promedio para reparar
UNF	: Unidad nefelométrica de turbidez

B. SIMBOLOGÍAS

%	: Porcentaje
°C	: Grados Celsius
°F	: Grados Fahrenheit
bar	: Unidad de presión
Cost/m ³	: Costos por metro cúbico
gpm	: Galones por minuto
Km	: Kilómetros
Lts/hora	: Litros por hora
Lts/seg	: Litros por segundo
m	: Metro
m ³ /día	: Metros cúbicos por día
mm	: Milímetros
Mg/l	: Milígramo por litro
NSPHd	: Altura neta positiva en la aspiración disponible
NSPHr	: Altura neta positiva en la aspiración requerida
pH	: Potencial hidrógeno
pies	: Unidad de longitud
psi	: Libras por pulg ²
rpm	: Revoluciones por minuto
T° OP	: Tiempo de operación

T° REAL : Tiempo real de operación

ton : Tonelada

µm : Micrómetro

INTRODUCCIÓN

En Chile la principal fuente de agua para consumo proviene de las vertientes naturales que bajan de la Cordillera de Los Andes. Por tanto, el abastecimiento de agua para posterior potabilización está relativamente garantizado en la mayor parte del país, dada su extensión geográfica en torno a la cordillera andina.

La ciudad de Antofagasta, segunda región de Chile, está ubicada en el desierto de Atacama, una de las áreas más secas del planeta y con una muy escasa pluviometría anual. En cambio es una de las zonas más ricas y con mayor desarrollo industrial del país gracias a los recursos naturales procedentes de la minería del Cobre, Litio y otros metales.

Hoy en día las fuentes tradicionales de suministro de agua existentes en el norte se encuentran al límite de su utilización y sometidas a los cambios climáticos anuales, lo que está condicionando el desarrollo de la Región. Es por esto que ha sido necesario pensar en una nueva fuente de recursos de agua potable que sostenga el crecimiento urbano e industrial de la zona. Es aquí donde la desalinización de agua de mar aparece como respuesta.

Desde su implementación, la planta desalinizadora de agua La Chimba logra abastecer de agua potable al 70% de la población de Antofagasta, el resto es suplido con agua proveniente del Río Loa, proveniente de la cordillera. Esta situación actual de demanda requiere que la planta esté en constante funcionamiento. Es por esto que la óptima mantención de los componentes que participan en el proceso de desalinización y potabilización del agua es de mucha importancia.

La aplicación de un análisis de criticidad implica la recopilación de información respecto al historial de fallas, costos por mantenimiento e impacto a la producción. El resultado de este estudio permitirá determinar los componentes más relevantes del sistema en cuanto al potencial impacto que puede provocar su falla, y en base a esa jerarquización se aplicaran análisis de modos de fallas para establecer una pauta de seguimiento en las labores de mantenimiento que se presenten.

De esta manera se asegura una correcta optimización de los recursos disponibles, direccionándolos de manera eficiente según prioridad, y garantizando un mejor funcionamiento operacional de los activos y su proyección durante la vida útil.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar componentes del sistema desalinizador de la planta La Chimba para determinar los elementos más críticos y las labores de mantenimiento asociadas mediante análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de fallas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el proceso de ósmosis inversa aplicado en la desalinización de agua de mar.
- Describir los procesos y los componentes existentes en el sistema.
- Realizar un análisis de criticidad a fin de jerarquizar labores de mantenimiento.
- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La planta desalinizadora de agua se encuentra ubicada en la zona de La Chimba, ciudad de Antofagasta, II Región del país y es propiedad de AGUAS ANTOFAGASTA. Funciona desde el año 2003 y es actualmente la planta más grande de Sudamérica en su tipo, produciendo 600 lts/seg (51.840 m³/día).

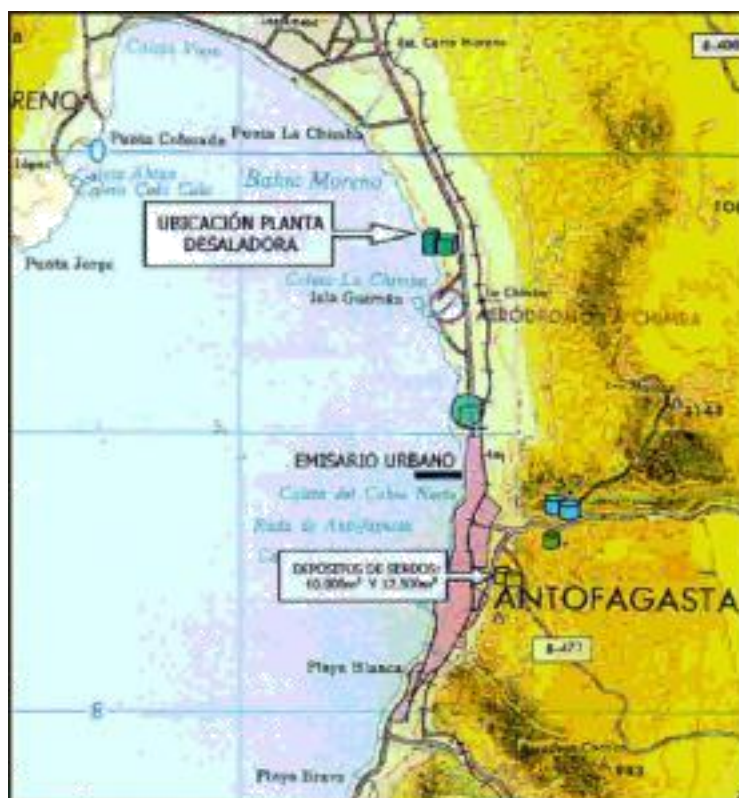
Su producción de agua potable es suministrada a la empresa Aguas de Antofagasta S.A. para su posterior distribución en la ciudad de Antofagasta. Actualmente el volumen producido alcanza el 70% del consumo de los habitantes de la ciudad.



Fuente: www.desalchile.cl

Figura 1-1. Vista general planta La Chimba

El sector denominado La Chimba se encuentra a 15 Km al norte de la Ciudad de Antofagasta. Es la actual zona de desarrollo de la ciudad, la cual se ha visto beneficiada con la instalación de la planta, ya que ha permitido acelerar la expansión de ésta al dar factibilidad de agua potable a una zona en la que aún no llegaban las redes de distribución. Produciéndose así una revalorización de los terrenos.



Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com>

Figura 1-2. Mapa ubicación Planta La Chimba

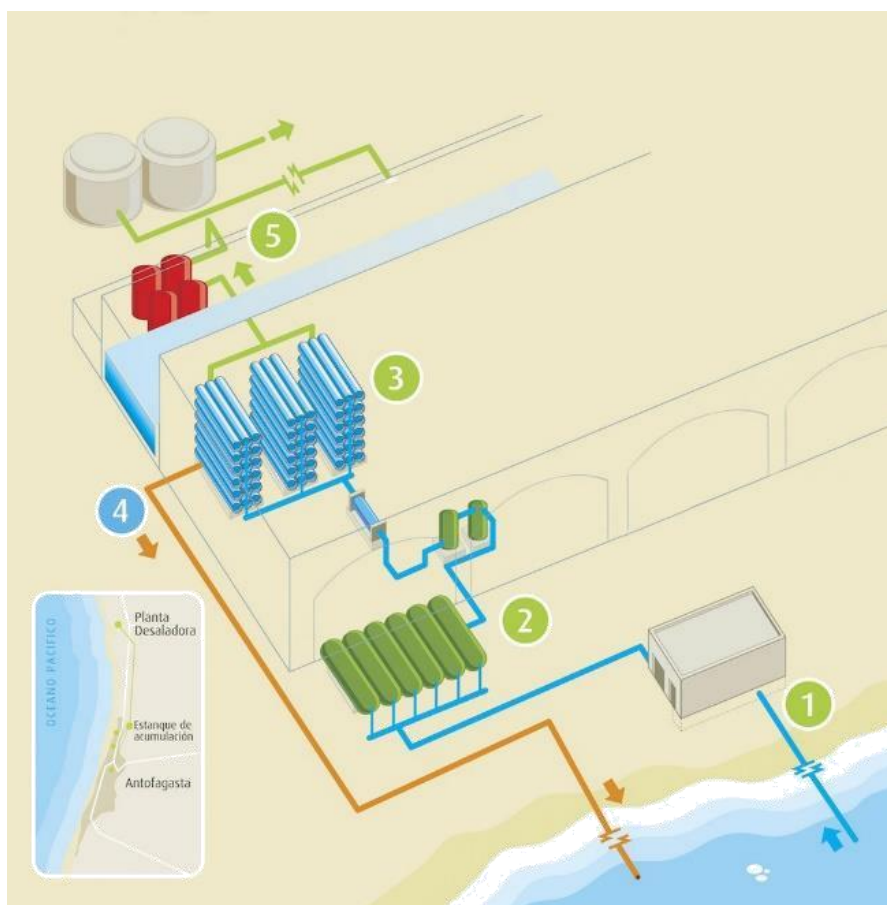
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de desalinización es una tecnología limpia, que no produce emisiones de gas ni ruidos molestos. La producción de agua potable en la planta comienza por la **captación de agua de mar** (1) (ver Figura 1-3) para luego, pasar a la etapa de **pre-tratamiento** (2) que consiste en la filtración de las aguas y acondicionamiento por medio de distintos productos químicos.

Luego se da paso a la **desalación del agua de mar** (3), que utilizando la tecnología de ósmosis inversa, logra la separación de las sales del agua que están disueltas en ella, hasta los niveles que permiten hacerla apta para el consumo humano.

Del agua captada se extrae la producción de agua desalada. **La salmuera es devuelta al mar** (4) produciéndose una dilución de la concentración de sales que no genere un impacto al medio ambiente de la zona.

Finalmente el agua es sometida a un proceso de **desinfección y fluoración** (5) para luego ser elevada a los estanques de almacenamiento y regulación. Finalmente es distribuida a la comunidad para su consumo.



Fuente: www.aguasantofagasta.cl

Figura 1-3. Esquema del proceso completo

A continuación se verá en detalle cada etapa presente en el proceso de manera independiente.

1.2.1. Captación del agua de mar

El método de captación de agua es a través de un emisario submarino, esto para evitar el arrastre de algas y contaminación existentes en la costa, además de la turbidez que genera el oleaje.

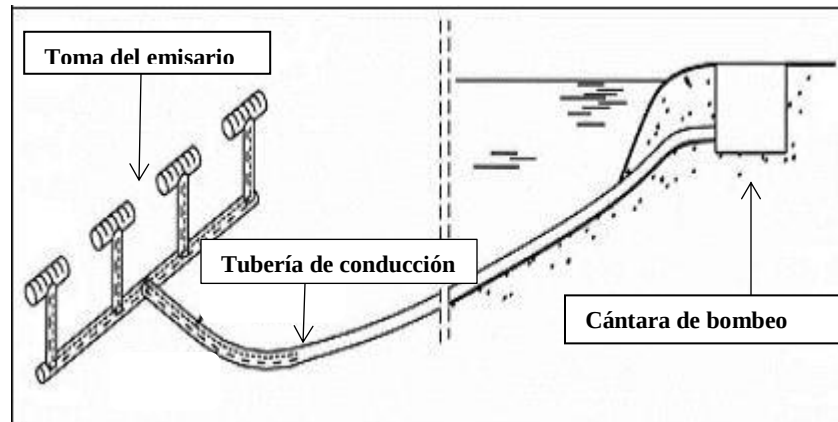
Cabe destacar que la composición del agua en las costas chilenas es de una salinidad comprendida entre 20.000 mg/l y 50.000 mg/l y puede poseer sólidos disueltos tales como: arena y tierras, productos de corrosión, materia orgánica y desperdicios, microorganismos y algas, etc. Para la zona de Antofagasta la temperatura del agua varía entre 15°C - 25°C según sea la estación del año.

Esta información resulta relevante para determinar el proceso de captación conveniente. Como se mencionó anteriormente, y a fin de evitar excesiva concentración de sólidos presentes en la costa es que se ha optado por el método de captación de agua por emisario submarino.

El emisario submarino se encuentra a 400 m. de la costa y a 20 m. de profundidad.

Las partes más importantes que constituyen una toma por emisario submarino son las siguientes:

- a) Toma del emisario
- b) Tubería de conducción
- c) Cántara de bombeo



Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-2-4/captacion-agua-2-2>

Figura 1-4. Esquema representativo de un emisario submarino

1.2.2. Pre-tratamiento y acondicionamiento

El objetivo de los pre-tratamientos es acondicionar el agua bruta a las condiciones del proceso de desalación que se le va a dar. Para el proceso por ósmosis inversa la misión del pre-tratamiento es eliminar o reducir al máximo posible el riesgo de atascamiento de las membranas por acumulación de sustancias, materiales y microorganismos en su superficie, lo que reduce la vida útil de las membranas y su eficiencia. Además de empeorar la calidad del agua tratada e incrementar la presión necesaria para el funcionamiento del proceso.

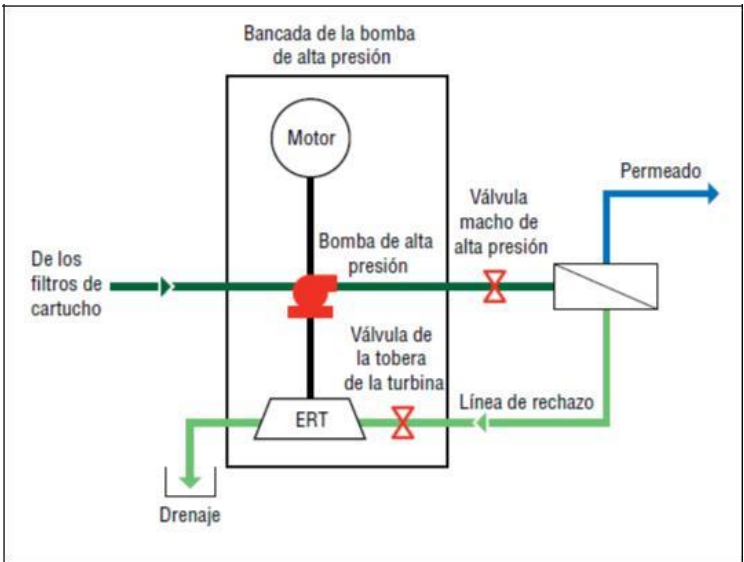
Es por esto, que a fin de evitar todos los inconvenientes antes nombrados, es que se procede a una filtración de las aguas a tratar. Para ello se emplean filtros de arena y filtros de cartucho, los cuales evitan el paso de materias suspendidas y no disueltas en el agua, eliminando principalmente arena, microorganismos y algas.

Para terminar el proceso de pre-tratamiento, el agua llega a unos estanques acondicionados donde participa un dosificador de productos químicos, los cuales condicionan el agua filtrada eliminando microalgas, bacterias o virus mediante desinfectantes del tipo cloro gas, hipoclorito cálcico e hipoclorito sódico, para que así llegue en condiciones óptimas a la siguiente etapa del proceso.

1.2.3. Desalinización

Consiste en la separación de las sales que están presentes de manera disuelta en el agua de mar. Esto se logra gracias al proceso de ósmosis inversa, tecnología que permite obtener agua purificada a partir del agua salada, mediante presión. Es un proceso con membranas semipermeables que permite forzar el paso del agua salada (ya filtrada de los materiales sólidos) a la corriente de agua con baja concentración de sal. Para ello es necesario suministrar el agua a una presión lo suficientemente alta mediante una bomba, como para superar la presión osmótica, obteniendo como consecuencia dos tipos de agua: salmuera y agua desmineralizada por separado.

El resultado de la separación de los sólidos del agua, es una concentración de sales llamada salmuera, la cual es rechazada por la membrana semi-permeable de los bastidores a alta presión. El concentrado a alta presión (salmuera) se conduce al rotor de una turbina, la cual produce entonces una energía rotatoria usada para ayudar al motor eléctrico principal a impulsar la bomba de alta presión. Esto es posible gracias a la transformación de la energía cinética del chorro en energía mecánica rotatoria que produce una turbina Pelton. Así, finalmente, es posible utilizar motores de menor tamaño y precio para impulsar la bomba. Es posible que la reducción del motor eléctrico alcance hasta un 60% de la energía total requerida para su funcionamiento.



Fuente: Manual práctico de ósmosis inversa

Figura 1-5. Esquema de funcionamiento y disposición de la turbina de recuperación de energía

Luego de la recuperación de energía la salmuera es devuelta al mar mediante otro emisario submarino a 200 m. de la costa, donde gracias a las corrientes presentes en la zona, el proceso de dilución es muy rápido, evitando y minimizando el impacto sobre la fauna y la flora bentónica.

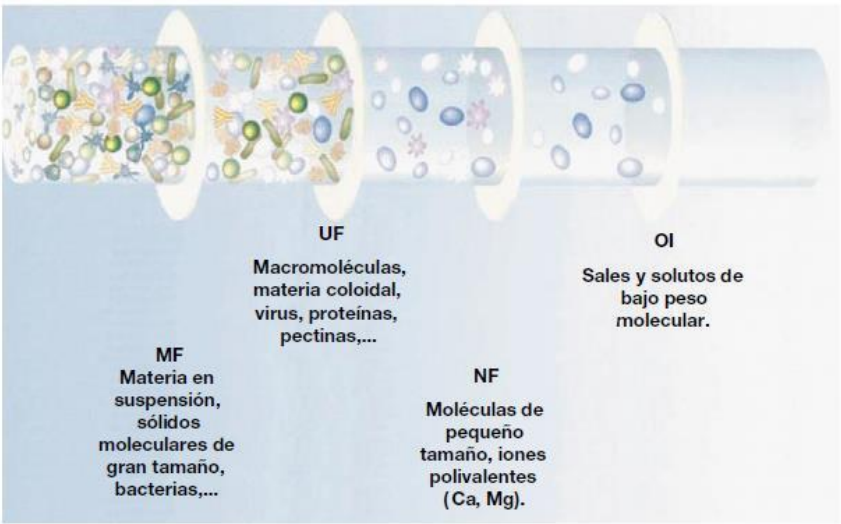
1.2.4. Post-tratamiento

Una vez finalizado el proceso de separación de las sales disueltas en el agua, esta es sometida a un post-tratamiento en donde es remineralizada con elementos que el cuerpo humano necesita. Posteriormente se le agrega cloro en cantidades que no afecten al cuerpo humano, desinfectando totalmente el agua, y por último el agua pasa por un proceso de fluoración, el cual ayuda a la prevención de caries. Estos dos últimos componentes son agregados de acuerdo a lo establecido por las normativas vigentes.

Ya concluida esta etapa del proceso, el agua potabilizada es conducida a los estanques de distribución donde la empresa Aguas Antofagasta la administra para la distribución de la ciudad.

1.3. ÓSMOSIS INVERSA

El concepto de la ósmosis inversa es muy sencillo: se toma agua que contiene sales disueltas u otros contaminantes y al aplicársele presión, el agua queda prácticamente libre de toda impureza cuando esta pasa a través de una membrana sintética. Debido a que la membrana no está dotada de poros, el agua tiene que disolverse en la membrana y pasar por difusión a través de ésta. Al permear el agua por la membrana, el líquido deja atrás casi todas sus sales, y otras impurezas tales como materia orgánica, coloides, organismos microbiológicos y sílice.



Fuente: Manual práctico de ósmosis inversa.

Figura 1-6. Esquema de una membrana

Se comenzó a incursionar en este proceso en la década de los 60, cuando se utilizó la primera membrana sintética para la obtención de agua, que era de acetato de celulosa.

Sin embargo, los primeros estudios sobre el fenómeno osmótico (que se explica más adelante), datan del año 1828, cuando se descubrió que las membranas semipermeables permitían el paso de un flujo desde una solución menos concentrada a una más concentrada.

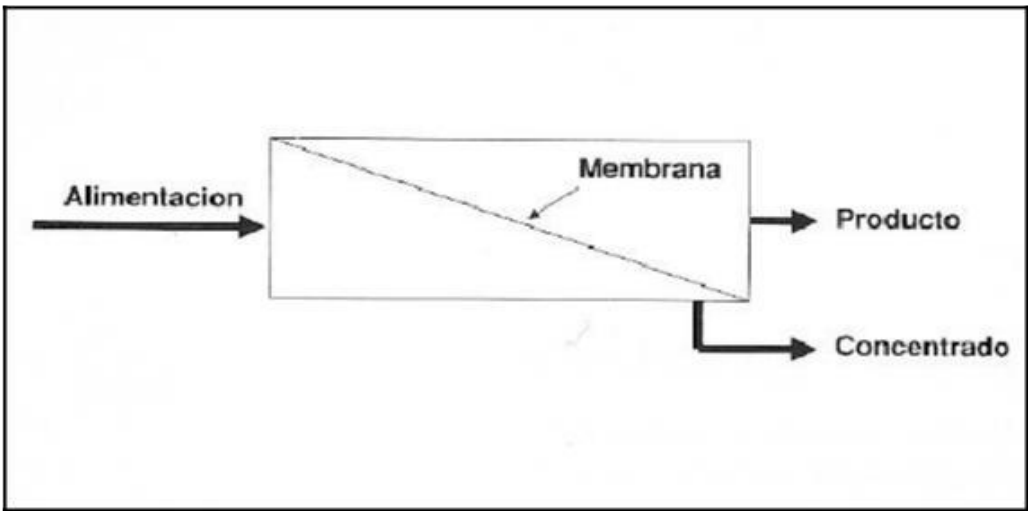
1.3.1. Conceptos generales

Para todos los efectos, la membrana produce una hiperfiltración del agua que se alimenta a presión. El agua que ha permeado a través de la membrana es altamente pura y está prácticamente libre de bacterias, virus, pirógenos, patógenos, larvas, esporas, quistes, algas y muchas otras impurezas que pueden afectar la salud humana.

La gran ventaja de la ósmosis inversa es que actúa como una operación continua, la cual va separando el agua purificada por un lado y la dureza y casi todas las demás sales y contaminantes por el otro. Estas sales se van extrayendo continuamente del sistema. Si el aparato se opera debidamente, no ocurre acumulación de sales, ni en las membranas ni en el sistema, y nunca necesita regenerarse.

Como se dijo anteriormente, la ósmosis inversa es un proceso continuo que siempre tiene tres corrientes diferentes de agua (una de entrada y dos de salida). De las tres, ya se mencionaron dos: el agua de alimentación y el agua producto. Hay una tercera corriente de agua, la cual es posiblemente la más crítica: el rechazo o concentrado de salmuera.

Esta corriente arrastra de manera continua prácticamente todas las sales y demás contaminantes que rechazó la membrana. Las sales, que comúnmente se encuentran en solución a punto de saturarse, se extraen del sistema en dicho caudal concentrado. En efecto, la ósmosis inversa es también un concentrador de sales.



Fuente: Manual práctico de ósmosis inversa.

Figura 1-7. Esquema de las tres corrientes

Además de las sales, el rechazo contiene en suspensión concentrada casi toda la sílice, materia orgánica, virus, bacterias, algas y demás impurezas que contaminaban el agua de alimentación.

1.3.2. Aplicaciones

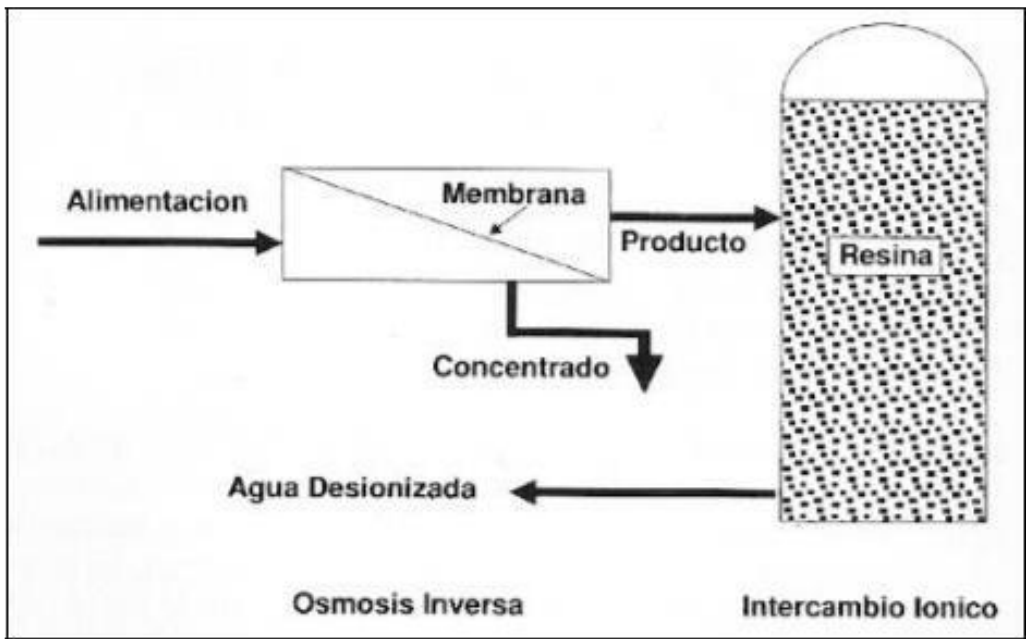
A continuación se mencionarán algunas de las aplicaciones principales de la ósmosis inversa a nivel industrial.

1.3.2.1. Producción de agua para uso en calderas

Es una de las aplicaciones más antiguas de la ósmosis inversa. Esto, debido a que difícilmente se puede producir agua 100% des-ionizada y libre de cloruro de sodio mediante este proceso. Si se requiere una calidad superior a la que producen las membranas convencionales, una solución es instalar membranas de más alto rechazo (que operan a mayor presión), o bien, alimentar el producto de la ósmosis inversa a otro paso de membranas y/o a un pulidor para eliminar el resto de las sales.

La instalación de ósmosis inversa como pre-tratamiento delante de resinas de intercambio iónico disminuye considerablemente el costo global de operación. Se reduce así la carga de las resinas que estén instaladas después de las membranas semipermeables.

El esquema que representa este proceso se detalla en la figura 1-6.



Fuente: Manual práctico de ósmosis inversa.

Figura 1-8. Ósmosis como pre-tratamiento de intercambio iónico

1.3.2.2. Agua ultra pura para productos farmacéuticos y cosméticos

Esta aplicación es parecida a la obtención de aguas ultra puras para calderas, solo se diferencia en que después de la ósmosis, se instalan columnas de carbón activado, las cuales eliminan cualquier residuo de cloro o solvente orgánico que logre traspasar las membranas. También se suelen instalar esterilizadores de luz ultravioleta para que el agua sea aséptica. Todo esto para que el agua esté en perfectas condiciones de uso farmacéutico y cosmético, ya que cualquier alteración en sus componentes producto del proceso de ósmosis y esterilización puede afectar el producto y repercutir en las personas.

1.3.2.3. Elaboración de cerveza y refrescos

Otra aplicación de la ósmosis inversa es para la obtención de agua usada como materia prima para hacer refrescos y cervezas. Se ocupa este sistema cuando el agua disponible tiene un contenido tan alto en dureza o en cloruros que no puede llenar las especificaciones de calidad requeridas. Existen marcas destacadas de cervezas y refrescos que usan este sistema para la obtención de estos productos (Heineken, Coca Cola).

1.3.2.4. Fabricación de barras y cubos de hielo cristalino, puro y nítido

Dentro de la potabilización del agua, hay un uso que puede pasar desapercibido, la purificación de agua para hielo. El uso de agua producto de ósmosis inversa tiene varias ventajas. La primera es que con esta agua se obtiene un hielo nítido y cristalino el cual es muy solicitado por el público.

La turbidez del hielo fabricado con agua corriente se debe a que durante el proceso de congelación, las sales y otros contaminantes tienden a concentrarse en el centro de los cubos y barras de hielo, dándole el aspecto común que se ve normalmente.

Otra ventaja de fabricar hielo con esta agua es que como el producto de ósmosis inversa no contiene dureza (está suavizada), no se forman incrustaciones en los moldes ni en los otros procesos dentro de la fábrica en donde se utilice esta agua.

1.3.2.5. Producción de agua para regadío

El avance tecnológico permite que la ósmosis inversa sea un proceso versátil, adecuándose a las distintas necesidades que surgen, es por esto que también se utiliza el proceso de ósmosis inversa para la producción de agua para regadío de cultivos e invernaderos.

Según el tipo de cultivos y zona geográfica donde se encuentre, la tolerancia de sales en el agua varía considerablemente, es por esto que para implementar este proceso se debe hacer un estudio previo de las aguas a usar para este fin y la cantidad de sales y minerales que requiere para un buen resultado. De aquí se determinan el tipo de membrana

que deberá utilizar el proceso de ósmosis inversa según los requerimientos de los cultivos e invernaderos.

1.3.2.6. Producción de agua potable para consumo humano

Las plantas potabilizadoras por ósmosis inversa, gracias al avance de la tecnología, pueden llegar a ser tan pequeñas como para suplir el consumo de una casa o pequeña embarcación (4 lts/hora), pudiéndose encontrar hoy en día sistemas potabilizadores de agua por ósmosis inversa en algunas ferreterías, hasta una ciudad completa, como en el caso de la planta desalinizadora La Chimba (caso cercano), la cual es de una escala industrial (600 lts/seg), ya que potabiliza un gran caudal de agua diariamente.

Así como en Chile existen estas plantas potabilizadoras de agua, también las hay en todo el mundo, ya sea en el área de la minería, industrial, urbano, etc.

1.3.2.7. Otras aplicaciones

La ósmosis inversa está encontrando nuevas aplicaciones cada año. Algunos de los nuevos usos de este proceso están en remover el alcohol a la cerveza, concentrar jugos, concentrar el oxígeno al aire del 21% al 30% con lo que se purifica y la concentración de muchos otros productos alimenticios.

1.3.3. Definiciones y conceptos básicos

La ósmosis (ósmosis directa) es un proceso natural que ocurre en todas las células vivas. La ósmosis permite la vida del reino vegetal, y del reino animal, incluyendo a los seres humanos, al inducir que el agua fluya por difusión desde zonas donde se encuentra relativamente pura, con baja concentración de sales, a zonas donde se encuentra con alta concentración a través de una membrana semipermeable. El resultado final es la extracción de agua pura del medio ambiente.

1.3.3.1. Membrana semipermeable

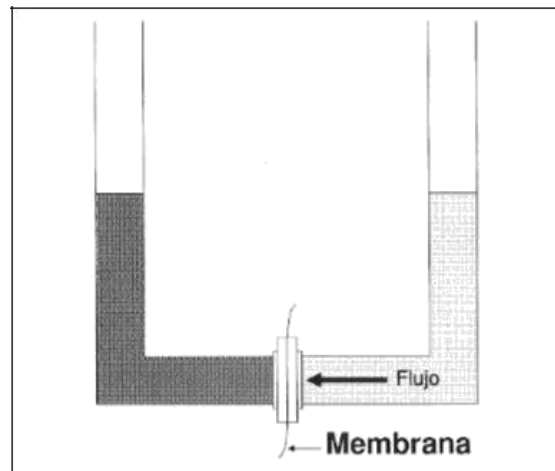
Una membrana semipermeable es cualquier membrana, animal, vegetal, o sintética en la que el agua puede penetrar y traspasar con mucha más facilidad que los otros componentes que se encuentran en la solución misma.

Un ejemplo, son las raíces de las plantas que extraen del suelo el agua para sobrevivir. El proceso osmótico natural convierte el agua pura en agua menos pura al contaminarse con las sales y azúcares de los fluidos vitales de las plantas.

Este fenómeno se puede duplicar en un laboratorio usando como membrana una cáscara de papa colocada entre bridas, como se ve en la Figura 1-10 donde ésta separa las

dos columnas de un manómetro. Luego se procede a llenar las dos columnas con agua pura y agua salobre, cuidando que sea al mismo nivel.

Se puede notar, entonces, que el nivel de agua pura comienza a bajar a medida que se va permeando a través de la membrana y diluye las sales de la columna con agua más salada. El caudal de agua se produce bajo la fuerza impulsora de la diferencia de concentración. A medida que esto sucede, simultáneamente se reduce dicha concentración y aparece una diferencia creciente de nivel hidrostático entre ambas columnas.

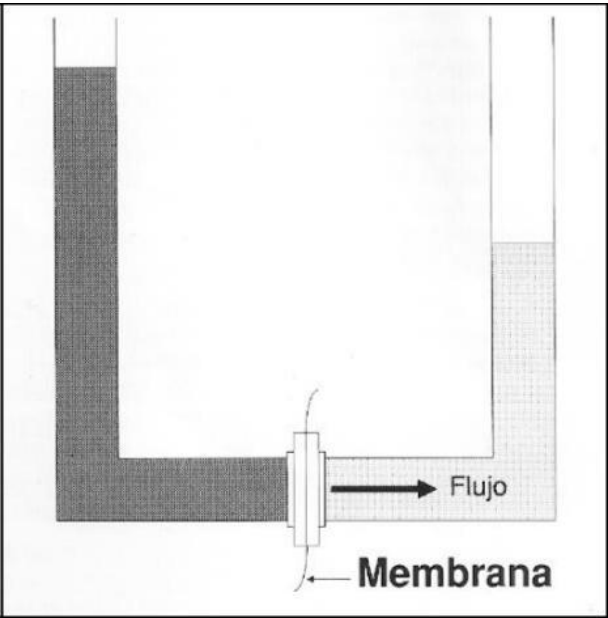


Fuente: Manual práctico de ósmosis inversa.

Figura 1-9. Simulación de ósmosis directa con membrana natural

1.3.3.2. Ósmosis inversa

Ya se mencionó que el proceso de ósmosis inversa consiste en purificar agua extrayendo sus sales a través de una membrana mediante una presión. Este ejercicio también se puede realizar con las mismas columnas y membrana, pero con la diferencia de que la columna de agua salobre tiene una altura superior al agua pura. Lo que vemos entonces es que la presión hidráulica dada por la diferencia de altura, fuerza al agua con sales a fluir a través de la membrana, obteniéndose por consiguiente, agua pura.

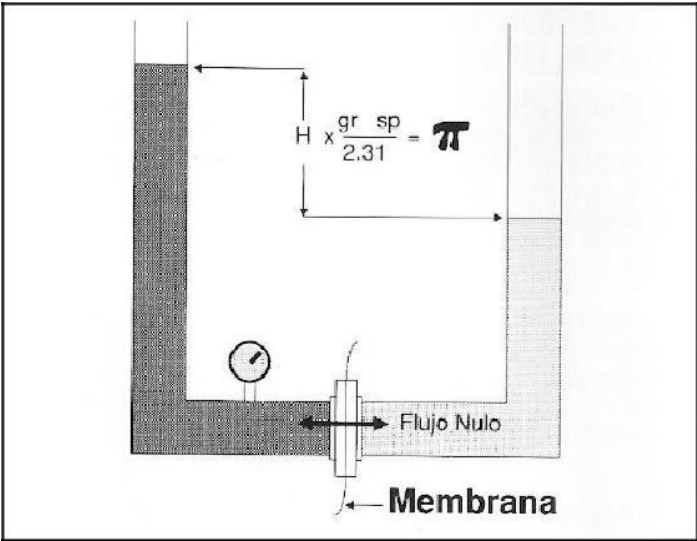


Fuente: Manual práctico de ósmosis inversa.

Figura 1-10. Simulación de ósmosis inversa con membrana natural

1.3.3.3. Presión osmótica

La presión osmótica se define como la presión necesaria con que se puede mantener en equilibrio el sistema, un punto en donde no hay caudal directo ni caudal inverso. Si se observa el sistema, es posible deducir que la presión hidráulica entre las columnas de agua en efecto, está equilibrando exactamente aquella fuerza que hace pasar el agua pura a la zona de alta concentración de sales.



Fuente: Manual práctico de ósmosis inversa.

Figura 1-11. Definición práctica de la presión osmótica

En la Figura 1-11 podemos ver que la diferencia de altura (pie) entre las dos columnas multiplicada por el peso específico del agua y por una constante de conversión nos da la presión hidrostática neta del sistema. Esta diferencia de presión hidrostática también se puede medir si instalamos un manómetro en la columna con más alto nivel de agua.

CAPITULO 2: COMPONENTES DEL SISTEMA

2. COMPONENTES DEL SISTEMA

2.1. COMPONENTES CORRESPONDIENTES POR SISTEMA

El proceso de desalinización se lleva a cabo en una instalación con 9 líneas de producción, donde cada una se divide en 5 pasos o sistemas con sus correspondientes equipos y elementos, que se describe a continuación.

2.1.1. Obra de toma (captación)

En esta zona se recibe el agua procedente de la cántara, el trabajo es realizado por 9 bombas de agua de mar actualmente operativas (en paralelo). El sistema de control cuenta con transmisores de caudal y presión para llevar un seguimiento del fluido que garantice buen abastecimiento de las bombas posteriores. A continuación se detallan los componentes presentes en dicha etapa.

2.1.1.1. Sistema de elevación agua cruda

El motor con la bomba permiten la circulación del fluido a través de la línea y la primera dosificación que se adhiere es la de hipoclorito de sodio. Primer paso en la desinfección del agua.

- a. Bomba centrífuga, marca SULZER PUMPS, modelo SMNV-450
- b. Motor Bomba centrífuga, marca ABB
- c. Transmisor de caudal ultrasónico, marca ENDRESS+HAUSER
- d. Transmisor de presión, marca ROSEMONT, modelo 2088 smart
- e. Bomba centrífuga horizontal de carga hipoclorito, marca TECNIUM
- f. Bomba dosificadora hipoclorito, marca OBL, modelo XR6.38P170ZE12NU
- g. Bomba dosificadora auxiliar, marca OBL, modelo XR6.48P170ZE12MU
- h. Compresor de aire para protección medusas, marca SCHULZ, modelo MSV15NAP

2.1.2. Pre-tratamiento

Una de las características del agua de mar, es que contiene sales con tendencia a precipitar tanto por efecto del calor, como de la concentración; ya que al iniciarse el proceso de desalación, la corriente de agua en la que las sales permanecen, se concentra en ellas, pudiendo superar el producto de solubilidad de algunas de las sales, con lo cual precipitarían.



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 2-1. Estanque de dosificación

A continuación se detallan los procesos necesarios para acondicionar el agua de mar a circular por las membranas.

2.1.2.1. Filtros de arena

Los filtros de arena tienen la misión de ser una barrera de contención para todas las partículas de hasta 20 micras de tamaño. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante de arena. Una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contra corriente. Los siguientes son dispositivos de control instalados en la entrada y salida de los filtros.

- a. Transmisor de caudal electromagnético, marca ENDRESS+HAUSER, D=250mm
- b. Transmisor de presión colector general entrada y salida filtros de arena, marca ROSEUMONT
- c. Transmisor de ORP salida filtros de arena, marca ROSEUMONT

2.1.2.2. Dosificación productos químicos

En esta etapa se procura lograr una dosificación equilibrada de los elementos que tratarán el agua de modo que su purificación sea progresiva a medida que avanza por la línea de producción, y además prolongar la vida útil de las membranas protegiéndolas de elementos no deseados.

La bomba coagulante adiciona cargas positivas a los coloides, que los desestabilizan eléctricamente, permitiendo que se reagrupen y generen una aglomeración de partículas de más fácil separación.

La bomba dosificadora de metabisulfito sódico permite que se reduzca la cantidad de oxidantes presentes en el fluido que provienen de la dosificación de hipoclorito y que pueden dañar las membranas.

Por último la bomba dispersante es la encargada de prevenir el ensuciamiento de las membranas debido a la formación de incrustaciones. Gracias a una pequeña dosificación de dispersantes detiene el proceso de precipitación al inhibir el crecimiento de cristales de sal.

- a. Bomba dosificadora coagulante, marca OBL, modelo XR6.48P170DVMUZ92
- b. Bomba dosificadora metabisulfito, marca OBL, modelo XR6.48P111DVMUZ92
- c. Bomba dosificadora Dispersante, marca OBL, modelo XR6.48P111DVMUZ92



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 2-2. Filtros de cartucho

2.1.2.3. Filtros de cartucho

La filtración por cartucho es el mínimo pretratamiento necesario para una planta de membranas. El poro nominal de los cartuchos habitualmente está comprendido entre 1 y 5 μm nominales (equivalente a unos 20 μm absolutos) para asegurar la protección de las membranas ante la posibilidad de que el agua arrastre macropartículas en suspensión.

Los filtros de cartucho son elementos de seguridad inmediatamente anteriores a las membranas y no deben utilizarse para una eliminación sistemática de partículas en suspensión. Por tanto, a la salida de procesos físico-químicos previos a la filtración por cartuchos, las aguas deben presentar una turbidez inferior a 1 UNF; y los valores de SDI obtenidos deben ser adecuados para las membranas usadas en desalación.

- a. Transmisor electrónico de presión, en salida de filtros de afino, marca ROSEUMONT, modelo 2088 smart
- b. Analizador y transmisor de pH, instalado en salida filtros de afino, marca ROSEUMONT, modelo 1055 dual
- c. Medidor de SDI automático, instalado en salida de filtros de arena y cartucho, marca MABAT, modelo SDI 2200
- d. Analizador y transmisor de ORP, instalado en colector de salida de filtros de afino
- e. Analizador y transmisor de conductividad, instalado en colector de salida filtros de afino, modelo 1055 dual

2.1.2.4. Lavado filtros de arena

El lavado de filtro se consigue invirtiendo el sentido de circulación del agua y desechando ese fluido.

- a. Bomba centrífuga para lavado filtros de arena, marca SULZER PUMPS, h=24,3mca
- b. Soplane lavado filtros de arena, marca MPR
- c. Transmisor de caudal electromagnético, lavado filtros de arena, marca ENDRESS+HAUSER, D=300mm

2.1.3. Desalinización

El proceso de filtración del agua llega a su fin en esta etapa, en la cual el agua es desmineralizada completamente. Gracias a la pre-filtración de las aguas, se puede garantizar una mayor vida útil de las membranas, asegurando que la corriente de rechazo sea exclusivamente una concentración de sales disueltos y que ningún material de diferente naturaleza se incruste en ellas.

Finalmente se recalca que el rechazo de sales es más importante que la presión de operación, y es por esto que es la propiedad más importante de una membrana.

2.1.3.1. Bombeo alta presión

Las bombas de alta presión son las encargadas de impulsar la solución a tratar hacia las membranas de ósmosis inversa a la presión requerida por éstas. En el bombeo de alta presión es donde se consume la mayor parte de la energía que se necesita en una planta de ósmosis inversa.

- a. Motor turbo bomba alta presión, marca ABB, tipo HXR 500LR2
- b. Puente grúa de 15 TON para montaje turbo bombas

- c. Transmisor de caudal electromagnético, marca ENDRESS+HAUSER, D=400mm, ubicado en impulsión turbo bomba
- d. Transmisor de presión ubicado en impulsión turbo bomba, marca ROSEUMONT
- e. Transmisor de presión ubicado en rechazo turbo bomba, marca ROSEUMONT



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 2-3. Bomba de alta presión en línea con motor eléctrico y turbina de recuperación de energía

Corresponde a una bomba de dos etapas con impulsores opuestos de simple aspiración, cámara partida axialmente, diseñada principalmente para la alimentación a alta presión de las membranas de ósmosis inversa.

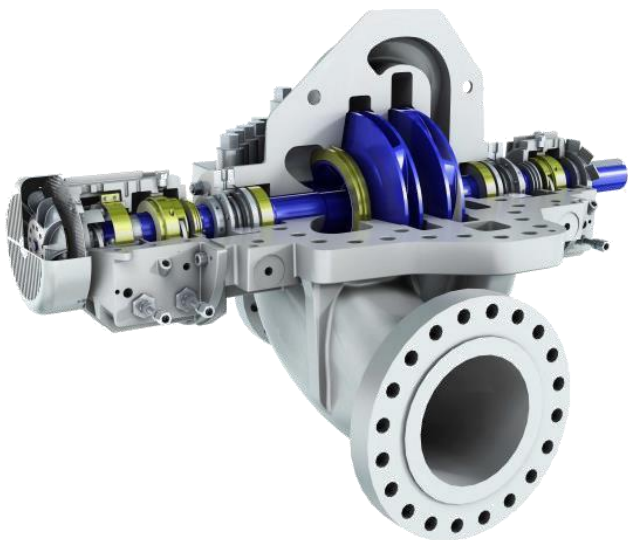
Es una bomba compacta y resistente con gran cobertura hidráulica en su rango de trabajo y excepcional rendimiento, así como con una óptima capacidad de aspiración.

Posee las siguientes ventajas:

- a) Diseño compacto de la parte hidráulica de la bomba
- b) Rendimiento óptimo según demandas del mercado

Principales características técnicas:

- a) Configuración hidráulica de dos impulsores de simple aspiración, diseño con valores NSPH muy bajo y óptimo rendimiento.
- b) Impulsores opuestos, dinámicamente equilibrados, diseñados para conseguir un equilibrio perfecto de empuje axial que permite eliminar la línea de equilibrio, con el consiguiente aumento de rendimiento.
- c) Cierre mecánico simple, equilibrado, de cartucho. Cierre mecánico API 682 opcional.
- d) Cojinete de camisa/cojinete de bolas de doble contacto angular como ejecución estándar de rodamientos. Cojinete de camisa/cojinete de zapata con sistema de lubricación forzada.
- e) Construcción robusta de la brida de las semi-carcasas, basada en estándar API.
- f) Reducción de holguras en piezas de desgaste a través de la utilización de PEEK y estructuras de panel de abeja, para mejorar el rendimiento de la bomba.



Fuente: www.sulzer.com

Figura 2-4. Bomba de alta presión

Tabla 2-1. Características de la bomba de alta presión

Caudales	Hasta 1.600 m³/h / 7.000 gpm
Alturas	Hasta 650 m / 2.150 pies
Presiones	Hasta 90 bares / 1.305 psi

Tabla 2-1. Características de la bomba de alta presión (Continuación)

Temperaturas	Hasta 60°C / 140°F
Velocidad máxima de giro	Hasta 3.600 rpm

Fuente: www.sulzer.com

Tabla 2-2. Materiales

Carcasa	Súper dúplex
Rodete	Súper dúplex
Anillos de desgaste	PEEK
Alojamiento de rodamientos	Acero al carbono

Fuente: www.sulzer.com

2.1.3.2. Bastidores de membrana osmosis inversa

Los bastidores de membranas están dispuestos de tal manera que el sistema funcione en paralelo a las demás líneas de filtración. Cada bastidor contiene 3 sub-bastidores, los cuales contienen 30 tubos con 7 membranas cada uno en su interior.



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 2-5. Bastidores de membranas

La membrana de ósmosis inversa está estructurada y empaquetada cuidadosamente para su integración en las unidades de proceso. Tanto el soporte como el empaquetado tienen como objetivo maximizar el flujo de agua a través de la membrana, minimizando el paso de sales.

En la actualidad, los elementos de ósmosis inversa que se están instalando son los de configuración en espiral. Se fabrican en forma de lámina sobre un material soporte, que en el caso de las actuales membranas de multicapa delgada, T.F.C. (Thin Film Composite), suele ser un poliéster tejido-no tejido. Dos de estas láminas u hojas se agrupan entre sí, pero opuestas y separadas por un espaciador que actúa como canal para el flujo de permeado. Ambos lados y uno de los extremos de este conjunto, se sellan mediante unos cordones o líneas de pegamento para formar un conjunto de varias capas a modo de «sobre».

El extremo abierto (no pegado) está conectado con el tubo encargado de recoger el permeado, alrededor del cual se enrolla el sobre para formar la espiral. Junto al sobre, se enrolla también una red plástica (espaciador), de modo que queden separadas las superficies de membrana y se mantenga de ese modo suficiente espacio libre para el flujo de agua de alimentación. El elemento así constituido se completa con unas piezas plásticas en los extremos para evitar un posible «efecto telescópico» («telescoping») y se cubre exteriormente con un recubrimiento a base de epoxy-fibra de vidrio que asegura el conjunto.

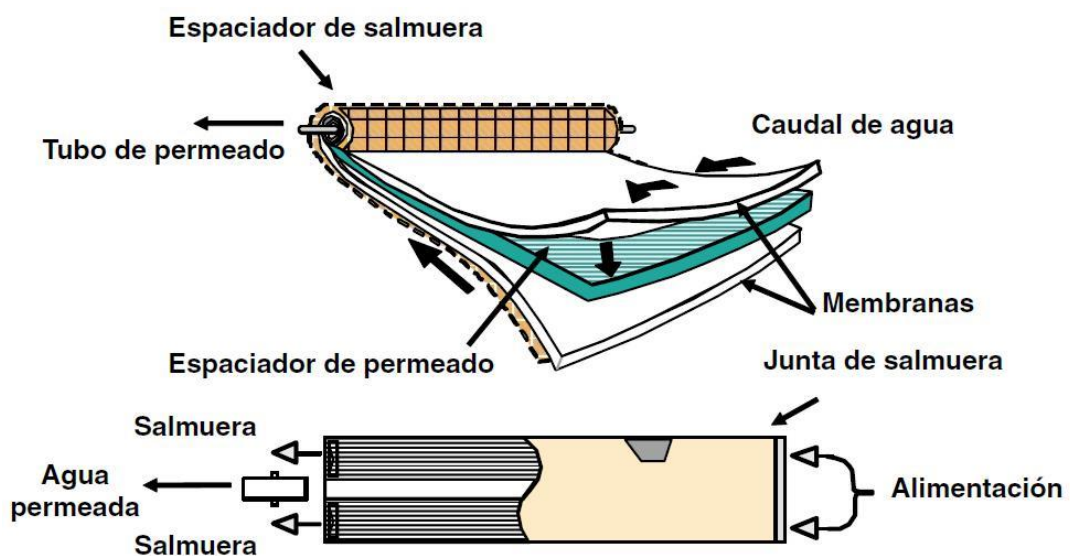
Por último, estos elementos se disponen en recipientes cilíndricos conocidos como cajas de presión, capaces de soportar las elevadas presiones de operación. La alimentación se sitúa en un extremo y fluye en paralelo a la dirección del tubo que recoge el permeado. Parte del agua fluye a través de la membrana, recorre un camino espiral y es

recogida en el tubo de permeado. El agua que no pasa a través de la membrana circula a lo largo del elemento paralelamente al tubo de permeado, arrastrando las sales hacia la salida de concentrado situada en el extremo opuesto de la caja de presión.

El permeado recogido en el tubo central puede extraerse por cualquiera de los extremos según necesidades del diseño.

En resumen, para esta configuración, los componentes de un elemento de ósmosis inversa son los siguientes:

- a) Membranas (capas).
- b) Espaciadores de salmuera.
- c) Espaciadores de permeado.
- d) Tubo de permeado.
- e) Tapas finales («anti-telescoping»).
- f) Envoltorio del elemento.
- g) Junta labiada de salmuera.



Fuente: Guía de desalación.

Figura 2-6. Componentes de un elemento de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral

- a. Transmisor de caudal electromagnético, marca ENDRESS+HAUSER, D=150mm, sub-bastidor
- b. Analizador y transmisor de conductividad, marca ROSEUMONT, instalado en salida bastidor
- c. Analizador y transmisor de pH, marca ROSEUMONT, bastidores
- d. Transmisor de presión, marca ROSEUMONT, instalado en salida bastidor 2, 4, 6

2.1.3.3. Limpieza de membranas osmosis inversa

La limpieza de la membrana debe realizarse a baja presión (<4 bar) y el flujo no debe exceder los límites establecidos. Deben intercalarse periodos de recirculación y reposo, con el fin de favorecer el contacto de la solución de limpieza con la suciedad y facilitar su eliminación.

- a. Calefactor de 100 kW en depósito de preparación de reactivos de lavado, marca COMIND
- b. Bomba centrífuga para limpieza química, marca SULZER PUMPS
- c. Transmisor de caudal electromagnético, colector impulsión bombas limpieza química membranas OI, D=250mm, marca ENDRESS+HAUSER

2.1.4. Post-tratamiento

Las aguas desaladas generalmente tienen una dureza y alcalinidad bajas, con un marcado carácter agresivo, por lo que requieren un tratamiento posterior para su corrección antes de ser distribuidas.

2.1.4.1. Filtros dolomita

Para introducir las sales necesarias y conseguir un pH neutro haremos circular el agua por un filtro de áridos de dolomita. Este filtro aportará las sales necesarias del ión de magnesio y de calcio.

- a. Sensor y transmisor de nivel ultrasónico en depósito lavado filtros dolomita, marca ENDRESS+HAUSER, modelo ProSonic FMU-860
- b. Transmisor de caudal filtros dolomita, marca ENDRESS+HAUSER, modelo Promag 50, ubicado en salida filtro dolomita
- c. Transmisor de presión soplante filtros dolomita, marca ROSEMONT
- d. Bomba lavado filtros dolomita, marca SULZER PUMPS, n° serie motor: 0141708210029
- e. Compresor soplante filtros dolomita
- f. Transmisor de caudal electromagnético, lavado filtros dolomita, marca H+S, D=250mm
- g. Puente grúa de 2 TON en filtros dolomita, marca KD-1

2.1.4.2. Dosificación productos químicos

Dada la gran capacidad de eliminación de las membranas, el agua producida no tiene más que algo de cloruro sódico disuelto. En estas condiciones, el agua no es apta

para el consumo humano, ya que como se ha indicado, carece de dureza y alcalinidad y resulta muy agresiva. Por este motivo, suele hacerse un proceso de pos-tratamiento al agua producto mediante el que se aportan determinadas sustancias como calcio, magnesio y bicarbonatos, ajustándose su equilibrio calcio – carbónico.

- a. Bomba dosificadora H_2SO_4 , marca OBL
- b. Bomba centrífuga horizontal carga H_2SO_4 , marca BANJO, material rodete AISI 316
- c. Transmisor de nivel H_2SO_4 , marca ENDRESS+HAUSER, modelo ProSonic FMU-860
- d. Bomba dosificadora hipoclorito de sodio, marca OBL, tipo XR6.30P145-ZE12
- e. Transmisor de nivel hipoclorito de sodio, marca OBL, tipo MD101PP11ZE12
- f. Transmisor de nivel NaOH, marca ENDRESS+HAUSER, modelo ProSonic FMU-862
- g. Bomba dosificadora fluoruro de sodio, marca OBL, tipo XR6.48P145ZE12MU
- h. Transmisor de nivel NaF, marca ENDRESS+HAUSER, modelo ProSonic FMU-862
- i. Electroagitador



Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 2-7. Estanque dosificación post-tratamiento

2.1.5. Elevación y conducción agua potable

Finalmente el agua es sometida a un control que asegure su calidad de acuerdo a la normativa vigente y es distribuida a la comunidad.

2.1.5.1. Bombeo agua producto

Las bombas que se utilizan en la impulsión del agua producto tienen la capacidad y potencia necesaria para conducir el fluido varios kilómetros hasta los estanques de distribución, ubicados en la parte alta de la ciudad.

- a. Bomba impulsión agua potable, marca SULZER PUMPS, tipo CAP8100-351
- b. Motor bomba impulsión agua potable, marca ABB tipo M2CA 280MD 2 B3
- c. Variador de frecuencia para una bomba centrífuga de agua potable
- d. Transmisor de caudal electromagnético para agua potable, marca ENDRESS+HAUSER, D=600mm, modelo Promag 50
- e. Analizador y transmisor de cloro libre en agua potable, marca ROSEUMONT
- f. Analizador y transmisor de pH en agua potable, marca ROSEUMONT
- g. Analizador y transmisor de conductividad en agua potable, marca ROSEUMONT
- h. Analizador y transmisor de turbiedad en agua potable, marca HACH, modelo 1720 E, Low Range, transmisor SC 100
- i. Puente grúa 5 TON, marca FORVIS

Se usan bombas verticales multicelulares de alta presión diseñadas para instalación “IN LINE”. Corresponde a una bomba universal con diversas aplicaciones civiles e industriales, ya sea equipos de presión para viviendas, instalaciones contra incendios, lavado a presión, irrigación, tratamientos de aguas y ósmosis inversa, etc. La temperatura máxima del líquido bombeado bordea los 120° C.



Fuente: www.bombasideal.com.

Figura 2-8. Bomba de elevación agua producto

CAPITULO 3: ANTECEDENTES TEÓRICOS

3. ANTECEDENTES TEÓRICOS

3.1. MANTENIMIENTO

Mantenimiento es el conjunto de actividades que se realizan en un componente, equipo o sistema para asegurar que continúe desempeñando las funciones que se esperan de él, dentro de su contexto operacional. El objetivo fundamental del mantenimiento, es preservar la función y la operabilidad, optimizar el rendimiento y aumentar la vida útil de los activos procurando una inversión óptima de los recursos. Según el concepto actual de mantenimiento existen dos tipos a grandes rasgos; el mantenimiento programado, aquel en que se prevén las intervenciones, recursos y trabajos a realizar en los equipos, y el no programado, aquel donde las intervenciones se realizan de emergencia, por lo general provocando la detención de las instalación y equipos. Algunos conceptos que se manejan en el área de mantención son los siguientes:

- a) Disponibilidad: Es la probabilidad de que un sistema productivo esté en capacidad de cumplir su misión en un momento dado, bajo condiciones determinadas.
- b) Mantenibilidad: Corresponde a la probabilidad de que un sistema productivo pueda ser restaurado a condiciones normales de operación dentro de un período de tiempo dado.
- c) Confiabilidad: Es la probabilidad de que un sistema productivo no falle en un momento dado bajo condiciones establecidas.

3.1.1. Gestión del mantenimiento

En la gestión del mantenimiento existen cuatro procesos esenciales a seguir que son los siguientes:

3.1.1.1. Planificación

Planificar es el proceso por el cual se definen los objetivos a alcanzar en la gestión y se determinan las estrategias de acción a implantar de acuerdo a criterios basados en las políticas, prioridades de la empresa y estimación de costos.

3.1.1.2. Programación

El proceso de programación se inicia cuando se ha asignado a cada acción de mantenimiento una escala de tiempo y de utilización de recursos. El programa establece

los tiempos esperados de inicio y finalización de la acción y se formula asignando recursos hasta el límite de disponibilidad, de acuerdo a las necesidades de planificación previa.

3.1.1.3. Ejecución

El concepto de ejecución vincula dos acciones administrativas de singular importancia, como lo son la dirección y la coordinación de los esfuerzos del grupo de realizadores de las actividades generadas en los procesos de planificación y programación, que garantizan el logro de los objetivos propuestos.

3.1.1.4. Control

El control es la comprobación periódica de que las personas, instalaciones, sistemas y equipos están actuando y operando sin desviaciones en relación a las normas y/o parámetros determinados por la empresa.

3.1.2. Importancia del mantenimiento

El mantenimiento constituye un sistema vital dentro de toda instalación industrial. Una de sus funciones consiste en reparar, ajustar, reemplazar o modificar los componentes presentes en cualquier planta industrial para que la misma tenga la capacidad de operar satisfactoriamente durante el periodo que se determine.

Su importancia es de gran relevancia en cuanto a la producción de las empresas, es uno de los caminos más adecuados para lograr y mantener mejoras en eficiencia, calidad, costos y pérdidas.

Sin embargo, su objetivo fundamental va más allá de reparar urgentemente las averías que surgen. El departamento de mantenimiento de una empresa con desempeño industrial tiene cuatro objetivos que deben marcar y dirigir su trabajo:

- a) Cumplir un valor determinado de disponibilidad.
- b) Cumplir un valor determinado de fiabilidad.
- c) Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta.
- d) Conseguir todo ellos ajustándose a un presupuesto determinado, lo que corresponde cumplir con el presupuesto óptimo de mantenimiento.

3.1.2.1. Disponibilidad

La disponibilidad de una instalación se define como la proporción de tiempo en que ésta ha estado en total disposición de producir, independiente de que finalmente lo haya logrado o no, aun por razones ajenas a su estado técnico.

El objetivo más importante del mantenimiento, como se ha sugerido, es asegurar que la instalación y sus activos estén en disposición de producir un mínimo de horas determinadas en el año. Consiste un error pensar que su objetivo sería el de proveer la máxima disponibilidad (100%), ya que esto significa elevar los costos de forma considerable, algo totalmente anti rentable. Conseguir el objetivo marcado como meta de disponibilidad con un costo determinado sería lo suficiente.

3.1.2.2. Fiabilidad

La fiabilidad de un dispositivo (componente o sistema), sometido a unas condiciones de trabajo concretas, es la probabilidad de que éste funcione correctamente

(“sobreviva” sin fallar) durante un determinado período de tiempo. Así pues, la fiabilidad constituye un aspecto fundamental de la calidad de todo dispositivo. Por tal motivo, resulta especialmente interesante la cuantificación de dicha fiabilidad, de forma que sea posible hacer estimaciones sobre la vida útil del producto.

3.1.3. Tipos de mantenimientos

Dependiendo de la forma, el objetivo y la oportunidad en que se realizan las acciones, se pueden resaltar diferentes tipos de mantenimiento, siendo los más populares el correctivo, preventivo y predictivo.

3.1.3.1. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento se realiza luego de que se ha producido una falla, es decir, no habiendo falla no se puede implementar, por lo tanto habrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas correctivas. Generalmente se prioriza su agiliza su implementación cuando la falla afecte la seguridad del personal o provoque pérdidas de producción.

Al tratarse de una disciplina que se concibió en lo que se conoce como la “Primera Generación del Mantenimiento”, comprendida entre la revolución industrial y la primera guerra mundial, el hecho de optar por ésta como metodología como base del mantenimiento corresponde un desinterés en la prevención de fallas en los equipos, algo que no representa los tiempos actuales, dado el alto nivel de producción al que se trabaja en la mayoría de las empresas.

Aun así se manejan ciertas ventajas indudables a priori:

- a) No genera gastos fijos.
- b) No es necesario programar ni prever ninguna actividad.
- c) Sólo se gasta dinero cuando está claro que se necesita hacerlo.
- d) A corto plazo puede ofrecer un buen resultado económico.
- e) Hay equipos en los que el mantenimiento preventivo no tiene ningún efecto, como los dispositivos electrónicos.

Por otro lado, las desventajas que presenta este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- a) La producción se vuelve impredecible y poco fiable. Las paradas y fallos pueden producirse en cualquier momento.
- b) Supone asumir riesgos económicos que en ocasiones pueden ser importantes.
- c) La vida útil de los equipos se acorta.
- d) Impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, abandono, desconocimiento del manejo, desgaste natural, etc. Por esto se cae en la reiteración de la falla.
- e) Los seguros de maquinaria o de gran avería suelen excluir los riesgos derivados de la no realización del mantenimiento programado indicado por el fabricante del equipo.
- f) Las averías y los comportamientos anormales también pueden suponer accidentes con riesgos para las personas o para el medio ambiente.

3.1.3.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en programar intervenciones o cambios de algunos componentes o pieza según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares (horas de servicio, km recorridos, ton producidas). El objetivo de este tipo de mantenimiento es reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una máquina o instalación, tratando de planificar intervenciones que se ajusten al máximo a la vida útil del elemento intervenido.

El origen de este tipo de mantenimiento surgió analizando estadísticamente la vida útil de los equipos y sus elementos mecánicos, y efectuando su mantenimiento basándose en la sustitución periódica de elementos, independiente del estado o condición de deterioro y desgaste de los mismos.

El problema crucial del mantenimiento preventivo es poder determinar el momento oportuno y conveniente para efectuar el cambio o la reparación del componente. Esto no debe ser muy prematuro ya que no se aprovecha la vida útil del equipo, tampoco debe ser muy tarde porque se puede transformar en una acción correctiva. La determinación de este punto se puede hacer estadísticamente en caso de que el

mantenimiento cuente con suficiente información o bien a través de un sistema de inspecciones continuas, o combinando ambos métodos.

El mantenimiento preventivo presenta las siguientes características:

- a) Se realiza en un momento donde la planta no está produciendo, así se aprovechan las horas muertas de los equipos.
- b) Se lleva a cabo un programa en donde se especifican las tareas a realizar, tiempo necesario, equipos y repuestos, con el fin de realizar el mantenimiento en el menor tiempo posible.
- c) Permite a la empresa llevar un registro de todos los equipos y además brinda la posibilidad de actualizar la información de éstos.
- d) Permite programar los costos asociados.

3.1.3.3. Mantenimiento predictivo

Lo componen el conjunto de tareas que persiguen conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este tipo de tareas de mantenimiento, es necesario identificar variables físico-químicas (composición, temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario intervenir.

Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados para su realización. Algunos tipos de estudios que se pueden realizar son:

- a) Análisis de vibraciones.
- b) Análisis de lubricantes.
- c) Análisis por ultrasonido.
- d) Análisis termográfico.
- e) Análisis de árbol de fallas.
- f) Análisis de modos y efectos de falla y criticidad (AMFEC).

3.1.3.4. Mantenimiento rutinario

Es el que aplicado en forma periódica mantiene o alarga la vida útil del equipo e instalaciones de la planta y se divide en cuatro grandes aspectos:

- a) Inspección
- b) Prueba y ajuste
- c) Limpieza

d) Lubricación

3.1.4. Plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento, en líneas generales, se define como el establecimiento de un programa periódico de inspección, ajuste, lubricación y otras actividades relacionadas con el mantenimiento de las máquinas, instalaciones y equipos presentes en una planta o industria. Para esto, es necesario conocer las maquinarias, recopilar información técnica y elaborar fichas de mantenimiento para así poder llevar un control minucioso de las intervenciones y trabajos aplicados a éstas.

3.1.4.1. Características de un plan de mantenimiento

Un programa de mantenimiento se caracteriza por incluir siempre las siguientes actividades básicas:

- a) Inspección periódica de máquinas e instalaciones, edificios y equipos para revelar las condiciones que puedan causar paros de producción o deterioros.
- b) Mantener la instalación evitando estas condiciones, o repararla y ajustarla mientras sean aún poco importantes.

Todo programa de mantenimiento bien desarrollado en una industria incluye las siguientes operaciones:

- a) Limpieza.
- b) Lubricación.
- c) Inspección.
- d) Corrección de averías y errores.

Un programa de mantenimiento bien planteado, dará beneficios que compensarán con creces su costo. Reduce paros de producción (en la industria moderna el costo sucesivo de cada minuto perdido crece rápidamente). Esto es debido a la introducción de máquinas más caras y más complicadas y también a los modernos métodos de ingeniería en cuanto a distribución de maquinaria en secciones o líneas, de modo que un paro en una máquina se puede potencialmente convertirse en un paro parcial o total de producción.

Por último, el mantenimiento no es un remedio para los costos más elevados y los paros excesivos. Para ser efectivo debe integrarse con otras funciones de mantenimiento, como un trabajo de gestión bien organizado, una buena planificación del trabajo, la formación y entrenamiento del personal y el estudio de los métodos.

3.2. HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del componente de una forma sistemática, a fin de poder determinar el nivel de operabilidad, magnitud de riesgo, aquellas acciones de moderación y de mantenimiento que se requieren para asegurar a la empresa la integridad y continuidad operacional de sus activos.

El empleo de las herramientas de confiabilidad permite detectar la condición más probable en cuanto al comportamiento de un activo, ello a su vez proporciona un marco referencial para la toma de decisiones que van a direccionar la formulación de planes estratégicos.

A continuación se describen las herramientas de confiabilidad operacional más utilizadas a nivel mundial.

3.2.1. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional y administrar el riesgo.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación, sistemas y componentes está asociado a cuatro aspectos fundamentales:

- a) Confiabilidad del proceso.
- b) Confiabilidad humana.
- c) Confiabilidad de los equipos.
- d) Mantenimiento de los equipos.

Lamentablemente se dispone de recursos limitados, tanto económicos como humanos para poder mejorar estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa. Entonces se plantean una serie de preguntas: ¿Cómo poder establecer en una planta qué proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Qué criterio se debe utilizar? ¿Quiénes toman estas decisiones, se rigen bajo el mismo criterio?

El Análisis de Criticidad da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, media criticidad, baja criticidad.

Una vez identificadas estas zonas es mucho más fácil diseñar una estrategia para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las

aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona altamente crítica.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, tasa de fallas y tiempo de reparación, principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática que genera una ponderación para cada elemento evaluado.

3.2.1.1. Definición del análisis de criticidad

Como se ha dicho, se trata de una metodología que busca discriminar sistemas, instalaciones, equipos y elementos de manera jerárquica en función de su impacto global y a fin de facilitar la toma de decisiones. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para:

- a) Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- b) Priorizar proyectos de inversión.
- c) Diseñar políticas de mantenimiento.
- d) Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- e) Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las zonas más sensibles de la instalación industrial.

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- a) Fijar prioridades en sistemas complejos.
- b) Administrar recursos escasos.
- c) Crear valor.
- d) Determinar impacto en el negocio.
- e) Aplicar metodologías de confiabilidad operacional.

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- a) Mantenimiento.
- b) Inspección.
- c) Materiales.
- d) Disponibilidad de planta.
- e) Personal.

En el ámbito de mantenimiento, al tener plenamente establecido cuáles sistemas son más críticos, se podrá determinar de una manera más eficiente la prioridad de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo y correctivo, e incluso posibles rediseños y modificaciones menores a nivel de los sistemas o subconjuntos, además permitirá establecer la prioridad en la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de inspección, el estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica dónde vale la pena realizarlas, ayudando en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, niveles, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de materiales, la criticidad en los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de quipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, se puede sincerar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo, logrando un costo óptimo de inventario.

En el ámbito de disponibilidad de planta, los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel de personal, un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidad en los operarios y técnicos, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentran las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

3.2.1.2. Metodología de cálculo

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una **matriz de frecuencia por consecuencia de la falla**.

En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.



Fuente: Guía SCO Análisis Criticidad.

Figura 3-1. Matriz de criticidad

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

Criticidad = Frecuencia de Falla * Consecuencia

Consecuencia = {(Impacto Operacional * Flexibilidad * TPPR) + Costo Mantenimiento + Impacto Seguridad + Impacto Ambiente}

Donde la definición de cada criterio es:

- **Frecuencia de Falla:** es el número de veces que se repite un evento considerado como falla, dentro de un período de tiempo.
- **Impacto Operacional:** entendiéndose como el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.
- **Flexibilidad:** definida como la posibilidad de realizar un cambio rápido con un equipo paralelo para continuar con la operación normal sin incurrir en costos, detenciones o pérdidas considerables.
- **TPPR:** corresponde al Tiempo Promedio para Reparar.
- **Costo Mantenimiento:** Costo que implica reparar la falla más el costo de lo que se deja de producir.
- **Impacto Seguridad:** enfocado a evaluar posibilidad de eventos no deseados con daños a personas
- **Impacto Ambiente:** corresponde al efecto que la falla puede producir en el medio ambiente.

Los valores de criticidad obtenidos serán ordenados de mayor a menor, y serán graficados utilizando diagramas de barra, lo cual permitirá de forma fácil visualizar la distribución descendente de los sistemas evaluados.

La distribución de barras, en la mayoría de los casos, permitirá establecer de forma fácil las tres zonas específicas: alta, mediana y baja criticidad. Esta información es la que permite orientar la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad, donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor y aumentar la rentabilidad en el negocio.

3.2.1.3. Definir nivel de análisis

Se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos o necesidades de jerarquización de activos:



Fuente: Guía SCO Análisis Criticidad.

Figura 3-2. Niveles de análisis para evaluar criticidad

Se requiere contar con la siguiente información para realizar el análisis:

- a) Relación de las instalaciones.
- b) Relación de sistema y equipo por instalación.
- c) Frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados o las fallas consideradas en el análisis.
- d) Registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales.
- e) Registros de los impactos en producción (% pérdida de producción debido a la falla del elemento, equipo, sistema o instalación en estudio, producción diferida y costos relacionados).
- f) Registros de los impactos en la seguridad de los procesos.

3.2.2. Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF)

El análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- a) Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- b) Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- c) Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- d) Analizar la confiabilidad del sistema.

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que éstas se encuentren en operación o en fase de proyecto, así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

Para la realización de un AMEF se requiere lo siguiente:

- a) Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- b) Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde subconjuntos hasta el sistema completo.
- c) Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos de diseño.
- d) Especificaciones funcionales de módulos, subconjuntos, etc.
- e) Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- f) Formas de AMEF (en papel o digital) y una lista de consideraciones especiales que se apliquen al producto.

3.2.2.1. Beneficios del AMEF

La eliminación de los modos de fallas potenciales tiene beneficios tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo representa ahorros de los costos de reparaciones, las pruebas repetitivas y el tiempo de paro. El beneficio a largo plazo es mucho más difícil de medir, puesto que se relaciona con la satisfacción del cliente con el producto y con su percepción de la calidad; esta percepción afecta el futuro consumo del producto y es decisiva para crear una buena imagen.

Por otro lado, el AMEF apoya y refuerza el proceso de diseño, ya que ayuda en la selección de alternativas; se incrementa la probabilidad de que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados, proporciona una información adicional para ayudar en la planificación de programas de pruebas, desarrolla una lista de modos de fallas potenciales, clasificados conforme a su probable efecto sobre el cliente, proporciona un formato documentado abierto para recomendar acciones que reduzcan el riesgo para hacer el seguimiento de ellas, detecta fallas en donde son necesarias características de auto corrección o de leve protección, identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que de otra manera podrían pasar desapercibidos, detecta fallas primarias (pero a menudo mínimas) que pueden desencadenar fallas secundarias y, por último, proporciona un punto de vista fresco en la comprensión de las funciones de un sistema.

3.2.2.2. Identificación de funciones

Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, se necesitan dos cosas:

- a) Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- b) Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por esto el primer paso es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Una vez que el objetivo del análisis ha sido establecido, el siguiente paso en el proceso del AMEF es identificar funciones. Una función es el propósito para el cual fue diseñado o seleccionado un producto o proceso que está bajo el análisis. Si se trata de un sistema, las funciones deben ser también identificadas. Los modos de fallas potenciales o las categorías de fallas pueden ser entonces identificados describiendo la forma en la cual el producto o proceso falla.

Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

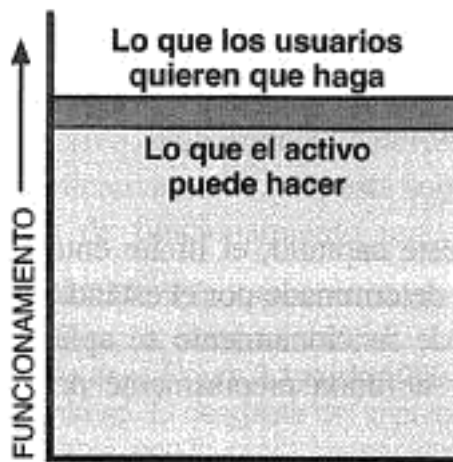
- a) Funciones primarias: que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.
- b) Funciones secundarias: la cual reconoce qué se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención,

confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta de apariencia del activo.

Como se ha dicho, el mantenimiento tiene por objetivo asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. La magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo haga puede definirse a través de un estándar mínimo de funcionamiento. Entonces si el deterioro es inevitable, debe ser tolerable.

Esto significa que cuando cualquier activo físico es puesto en funcionamiento debe ser capaz de rendir más que el estándar mínimo de funcionamiento deseado por el usuario.

Lo que el activo físico es capaz de rendir es conocido como capacidad inicial (o condición inherente).



Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Figura 3-3. Estado general de falla

Entonces el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos maneras:

- a) Funcionamiento deseado (lo que los usuarios quieren que haga)
- b) Capacidad propia (lo que puede hacer)

En este orden de ideas, para que un activo físico sea mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del margen de su capacidad inicial. Para determinar esto no sólo se debe conocer la capacidad inicial del activo físico, sino también cual es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario está dispuesto a aceptar dentro del contexto en que va a ser utilizado. Esto recalca la importancia de identificar precisamente que es lo que los usuarios quieren cuando comienza a desarrollarse un programa de mantenimiento.

Todo activo físico tiene más de una función, por lo general tiene varias. Si el objetivo del mantenimiento es asegurarse que continúe realizando estas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados. A primera vista, esto puede verse como un proceso bastante directo. Sin embargo, en la práctica casi siempre se vuelve al aspecto más desafiante y el que más tiempo toma en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento.

3.2.2.3. Identificación de fallas

La definición exacta de falla para cualquier activo depende en gran parte de su contexto operacional. Esto significa que de la misma manera que no se debe generalizar acerca de funciones de activos idénticos, también se debe tener cuidado en no generalizar acerca de sus fallas funcionales.

Se define falla como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.

Esta definición trata el concepto de falla de la manera que se aplica a un activo como un todo. En la práctica, esta definición puede ser un poco vaga, ya que no distingue claramente entre el estado de falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modos de falla).

Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

3.2.2.4. Modos de falla

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico. Sin embargo es prematuro aplicar el término falla a un activo físico en general. Es más preciso distinguir entre una falla funcional y un modo de falla. Esta distinción lleva a una definición más precisa de un modo de falla, como puede ser: un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional.

Los modos de falla caen en una de cinco categorías posibles de falla:

- a) Falla total.
- b) Falla parcial.
- c) Falla intermitente.
- d) Falla antes de tiempo.
- e) Falla por sobre exigencia o sobrecarga de la función.

El propósito de agrupar los modos de falla en cinco grupos es para ayudar al equipo de trabajo a identificar todos los posibles modos de falla. Analizando los modos de falla se pueden revelar posibles modos de falla inusuales que podrían pasar desapercibidas en ciertas ocasiones.

3.2.2.5. Efectos de falla

Luego de que las funciones y modos de falla han sido establecidos, el siguiente paso en el proceso de un AMEF es identificar las consecuencias potenciales cuando se presente un modo de falla. Esto se canaliza a través de una lluvia de ideas con el equipo de trabajo, desarrollando listas de los posibles desencadenamientos tras suceder la falla. Pues no es lo mismo efecto de falla que modo de falla; un efecto de falla responde a la pregunta ¿qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde la pregunta ¿qué importancia tiene?

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- a) La evidencia de que se ha producido una falla.
- b) Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- c) Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones.
- d) Los daños físicos causados por la falla.
- e) Qué debe hacerse para reparar la falla.

3.2.2.6. Ocurrencia

Las consecuencias son evaluadas en términos de ocurrencia, ésta se define como la probabilidad de que una causa en particular ocurra y resulte en un modo de falla durante la vida esperada del producto, es decir, representa la remota probabilidad de que el cliente experimente el efecto del modo de falla (relativo a la calidad).

Para obtener el valor de la ocurrencia se ha definido una escala de 1 a 10, la escala se divide en la siguiente forma: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. Cada uno de estos escalones dependerá de la frecuencia de falla que se le ha asignado a cada escalón, si la falla se encuentra es mayor a cinco años entonces se define que la probabilidad del incidente es casi nula, si la frecuencia es cada 2 años se define como baja, si la frecuencia es diaria se considera muy alta. En la siguiente tabla se muestra el criterio de evaluación y clasificación, para valores intermedios debe aproximarse hacia arriba, si se desconoce información se debe asumir un criterio de probabilidad muy alta.

Tabla 3-1. Criterio de evaluación sugerido y sistema de clasificación para la frecuencia de los modos de falla

POSIBILIDAD DE FALLA	FRECUENCIA DE FALLAS	NIVEL
Muy alta: La falla es casi inevitable.	Diaria	10
	Semanal	9
Alta: La falla es frecuente, o está asociada a fallas frecuentes en otros procesos.	Mensual	8
	Cada 2 meses	7
Moderado: La falla es ocasional, o está asociada a fallas ocasionales en otros procesos.	Cada 3 meses	6
	Cada 6 meses	5
	Anual	4
Bajo: Falla aislada en el proceso.	Cada 2 años	3
Muy baja: La falla está asociada a fallas aisladas en otros procesos.	Cada 5 años	2
Remota: La falla es improbable.	Mayor a 5 años.	1

Fuente: Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales.

3.2.2.7. Severidad

El primer paso para analizar el riesgo es cuantificar la severidad de los efectos. Los efectos se cuantifican en una escala determinada. Para el análisis en estudio se determina una escala de 1 a 10, siendo el nivel 10 el más severo y el nivel 1 el menos severo. Se sume que todos los efectos se producirán cuando el modo de falla ocurre. Por lo tanto el efecto más severo tiene precedencia cuando se evalúa el riesgo potencial. Para determinar la severidad es necesario tomar en cuenta lo siguiente: si el modo de falla interrumpe o no la operación, si impacta la calidad o acabado del producto, si ocurre con previo aviso o no, y algo muy importante como es el impacto en la operación segura del equipo. En la siguiente tabla se muestra el criterio de evaluación y clasificación de la severidad de los efectos.

Tabla 3-2. Criterio de evaluación sugerido y clasificación para la severidad de los efectos

EFEECTO	CRITERIO	NIVEL
Peligroso sin aviso	La falla ocurrirá sin previo aviso. Puede poner en peligro a otros sistemas y/o puede afectar la operación segura del sistema bajo análisis. Se incumple con alguna regulación gubernamental.	10
Peligroso con aviso	La falla ocurrirá con previo aviso. Puede poner en peligro a otros sistemas y/o puede afectar la operación segura del sistema bajo análisis. Se incumple con alguna regulación gubernamental.	9
Muy alto	Falla menor del sistema. Los controles actuales no pueden mantener el sistema operativo y requiere fuerte intervención del operador para su correcto funcionamiento.	8
Alto	Falla menor del sistema. Los controles actuales no pueden mantener el sistema operativo y requiere moderada intervención del operador para su correcto funcionamiento.	7
Moderadamente alto	Falla menor del sistema. Los controles actuales no pueden mantener el sistema operativo y requiere ligera intervención del operador para su correcto funcionamiento.	6
Moderado	Falla menor del sistema. Los controles actuales pueden mantener el sistema operativo pero requiere fuerte intervención del operador para su correcto funcionamiento.	5
Bajo	Falla menor del sistema. Los controles actuales pueden mantener el sistema operativo pero requiere moderada intervención del operador para su correcto funcionamiento.	4
Muy bajo	Falla menor del sistema. Los controles actuales pueden mantener el sistema operativo pero requiere ligera intervención del operador para su correcto funcionamiento.	3
Menor	Falla menor del sistema. Los controles actuales.	2
Ninguno	La falla no tiene efectos en el sistema.	1

Fuente: Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales.

3.2.2.8. Detección

Los valores de detección están asociados a dos tipos de control.

- a) Tipo 1: detectar las causas o mecanismos de falla.
- b) Tipo 2: detectar subsecuentes modos de falla.

Un valor de detección se asigna a un tipo de control, lo cual representa una habilidad colectiva de detectar causas y modos de falla. Los controles pueden ser agrupados y tratados como un sistema cuando ellos operan independientemente, así cada control individual aumenta la capacidad de detección global. La siguiente tabla muestra el criterio de evaluación y clasificación para la detección de una causa de falla.

Tabla 3-3. Criterio de evaluación y sistema de clasificación para la detección de una causa de falla

DETECCIÓN	CRITERIO	NIVEL
Incertidumbre total	El control no detecta la causa potencial de la falla ó no hay control.	10
Muy remota	Hay posibilidad muy remota de que el control detecte la causa potencial de la falla.	9
Remota	Hay posibilidad remota de que el control detecte la causa potencial de la falla.	8
Muy baja	Hay una muy baja posibilidad de que el control detecte la causa potencial de la falla.	7
Baja	Hay una baja posibilidad de que el control detecte la causa potencial de la falla.	6
Moderada	Hay una moderada posibilidad de que el control detecte la causa potencial de la falla.	5
Moderadamente alta	Hay una moderadamente alta posibilidad de que el control detecte la causa potencial de la falla.	4
Alta	Hay una alta posibilidad de que el control detecte la causa potencial de la falla.	3
Muy alta	Hay una muy alta posibilidad de que el control detecte la causa potencial de la falla.	2
Casi certeza total	El control detecta casi con certeza total la causa.	1

Fuente: Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales.

3.2.2.9. Fuentes de información acerca de modos y efectos de falla

Al considerar donde obtener la información necesaria para armar un AMEF completo, se debe recordar ser proactivos. Esto significa que debe darse tanto énfasis en lo que podría ocurrir como en lo que ha ocurrido.

Las fuentes de información más frecuentes se describen a continuación:

- a) El fabricante o proveedor del equipo.
- b) Listas genéricas de modos de falla.
- c) Otros usuarios de la misma máquina.
- d) Registros de antecedentes técnicos.
- e) Las personas que operan y mantienen el equipo.

3.2.3. Propósito final

La base de datos que se genera a raíz del análisis de criticidad debe ser considerado un documento viviente, significando que dicha base de datos debe ser actualizada en la medida de que el contexto operacional o las características de los equipos cambien.

El análisis debe garantizar que todo el personal involucrado entienda la finalidad del trabajo que se realiza, así como el uso que se le dará a los resultados que se obtengan.

Esto permitirá que los involucrados le den mayor nivel de importancia y las respuestas sean orientadas de forma más responsable, evitando así el menor número de desviaciones.

CAPITULO 4: ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF

4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF

4.1. COMPONENTES MÁS RELEVANTES Y SUS FALLAS

A continuación se presentan los elementos más relevantes en el sistema; se consideran bombas, turbinas, motores, bastidores, filtros y compresores, ya que son parte del eje central del sistema y la zona más sensible en la línea de producción y por lo tanto demandan la mayor atención en cuanto a presentar un óptimo desempeño. Cabe señalar que se han dejado fuera de este estudio todos los componentes enfocados a labores de control y análisis, ya sea transmisores de caudal, presión, conductividad, pH, temperatura, turbidez. Esencialmente, porque estos instrumentos cuentan con un integro plan de mantenimiento preventivo enfocado al control y re calibración de éstos, basado principalmente en indicaciones del fabricante. Siguiendo esta política es que se ha garantizado la calidad final del producto.

Para el estudio de análisis de fallas se nos ha facilitado por parte de la empresa un registro de actividades diarias. Documento que contiene información sobre los eventos ocurridos en un periodo de cuatro años y que para efectos del análisis de criticidad se ha desglosado lo necesario para establecer un histograma de fallas, y así determinar la frecuencia de fallas.

La frecuencia de fallas como su nombre lo indica es el número de veces que se repite un evento considerado como falla dentro de un período de tiempo, que para nuestro caso es de cuatro años.

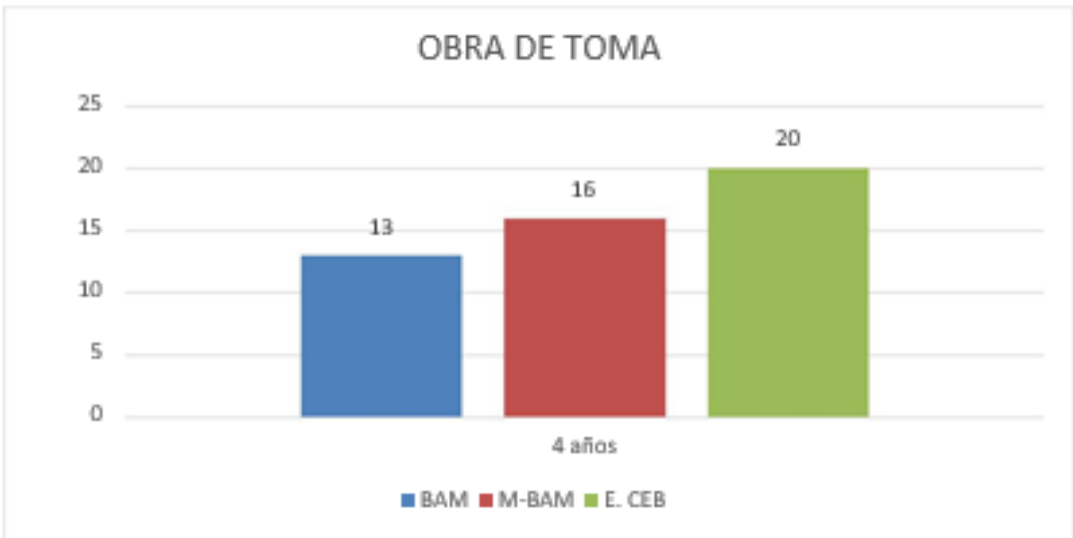


Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 4-1. Bombas de captación de agua de mar

4.1.1. Obra de toma

- BAM: Bomba agua de mar.
- M-BAM: Motor de bomba agua de mar
- E. CEB: Equipo de cebado (bomba de vacío + depósito).

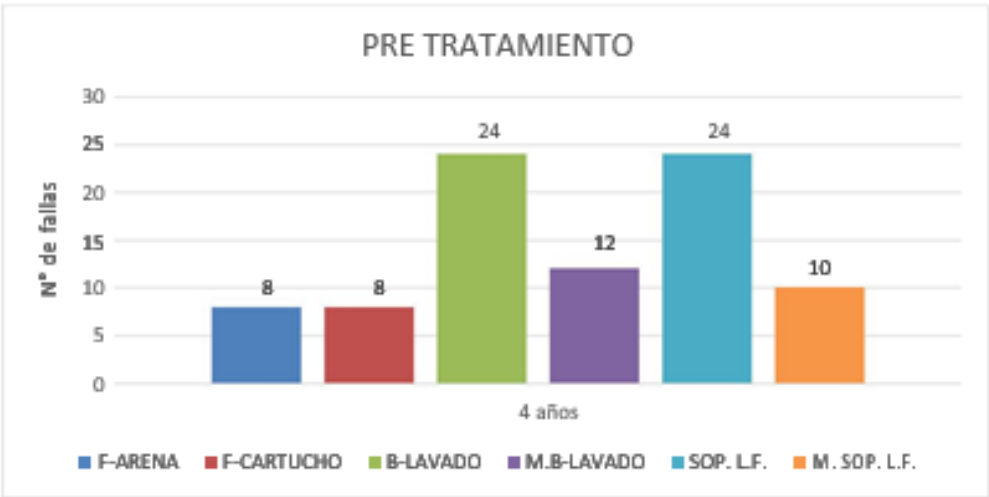


Fuente: Registro de actividades diarias (2004-2008).

Gráfico 4-1. Histograma de fallas obra de toma

4.1.2. Pre tratamiento

- F-ARENA: Filtros de arena.
- F-CARTUCHO: Filtros de cartucho.
- B-LAVADO: Bomba de lavado.
- SOP. LF: Soplane para lavado de filtros.
- M. SOP. LF: Motor de soplane para lavado de filtros.



Fuente: Registro de actividades diarias (2004-2008).

Gráfico 4-2. Histograma de fallas pre tratamiento

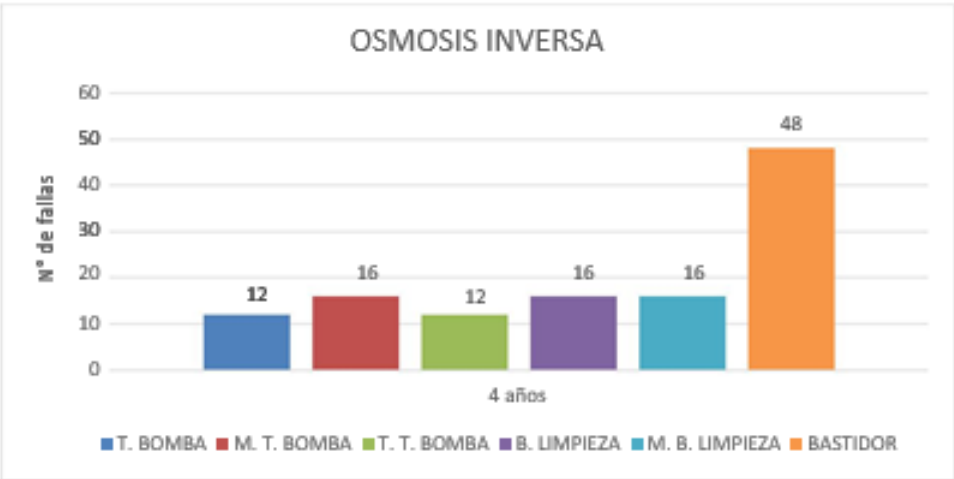


Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 4-2. Turbina de recuperación de energía (Pelton)

4.1.3. Ósmosis inversa

- T. BOMBA: Bomba de alta presión.
- M. T. BOMBA: Motor eléctrico.
- T. T. BOMBA: Turbina de recuperación de energía.
- B. LIMPIEZA: Bomba de limpieza.
- M. B. LIMPIEZA: Motor de bomba de limpieza.
- BASTIDOR



Fuente: Registro de actividades diarias (2004-2008).

Gráfico 4-3. Histograma de fallas ósmosis inversa

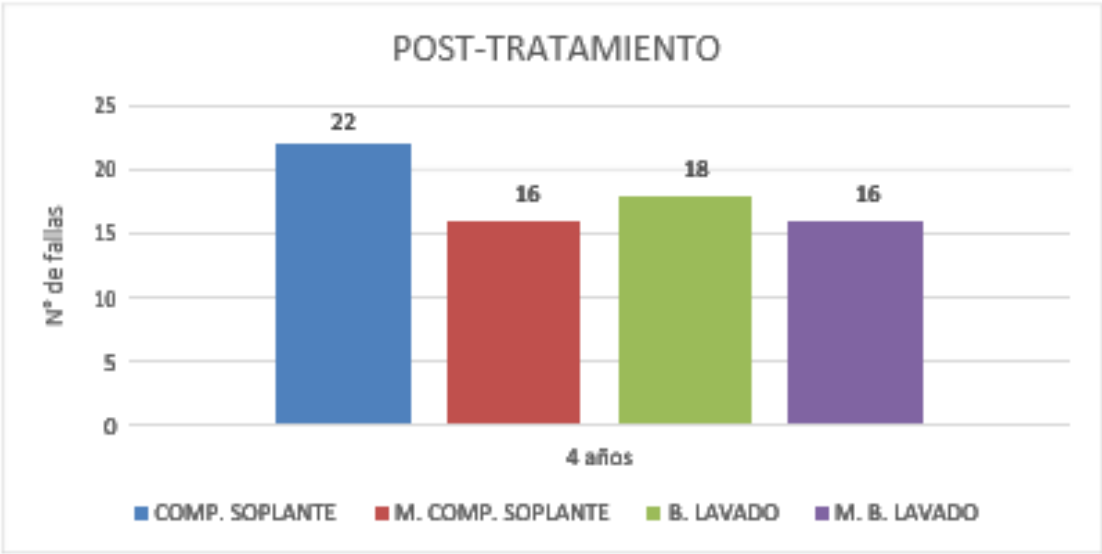


Fuente: Fotografía tomada en terreno.

Figura 4-3. Bastidores donde se realiza el proceso de ósmosis inversa

4.1.4. Post-tratamiento

- COMP. SOPLANTE: Compresor soplante.
- M. COMP. SOPLANTE: Motor de compresor soplante.
- B. LAVADO: Bomba de lavado.
- M. B. LAVADO: Motor de bomba de lavado.

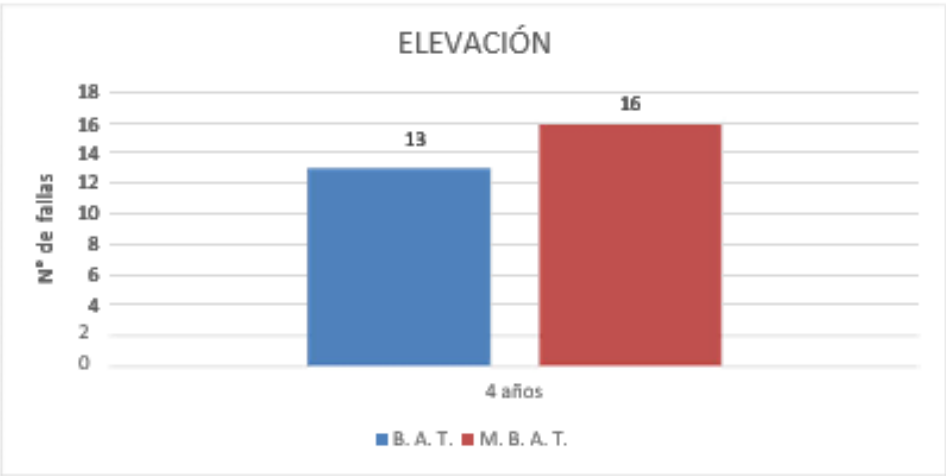


Fuente: Registro de actividades diarias (2004-2008).

Gráfico 4-4. Histograma de fallas post-tratamiento

4.1.5. Elevación

- B.A.T: Bomba de agua tratada.
- M.B.A.T: Motor de bomba de agua tratada.



Fuente: Registro de actividades diarias (2004-2008).

Gráfico 4-5. Histograma de fallas elevación

4.2. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS EN LOS COMPONENTES

Para el desarrollo del análisis de criticidad se ha elaborado la siguiente tabla de criterios basado en la información otorgada por la empresa. Ya sea, listas de equipos, registro de actividades diarias, inventarios, etc.

Los datos correspondientes a cada sección también han sido facilitados, como lo son las frecuencias de falla, flexibilidad y costos por concepto de mantenimiento. Sin embargo, para el cálculo de los impactos en general, se han estimado en su mayoría en base a información disponible, puesto que no se contaba con detalles específicos en ciertas áreas, como por ejemplo tiempos promedios de reparación.

Como se indicó en el capítulo anterior la fórmula para el cálculo de análisis de criticidad es la siguiente:

Criticidad = Frecuencia de Falla * Consecuencia

Consecuencia = {(Impacto Operacional * Flexibilidad * TPPR) + Costo Mantenimiento + Impacto Seguridad + Impacto Ambiente}

Tabla 4-1. Criterios para el cálculo de criticidad

Frecuencia de falla	
Menos de 1 falla por año	1
Entre 1 y 6 fallas por año	2
Entre 6 y 12 fallas por año	3
Entre 12 y 50 fallas por año	4
Mayor a 50 fallas por año	6
Flexibilidad	
Existe opción de producción	1
Hay opción de repuesto	2
No existe opción de producción ni función de repuesto	4
Costo de mantenimiento	
Menos de \$1.000.000	2
Entre \$1.000.000 y \$50.000.000	5
Entre \$50.000.000 y \$250.000.000	7
Más de \$250.000.000	10
Impacto ambiente	
No	0
Si	7
Impacto operacional	
No genera ningún efecto significativo	1
Impacta en niveles de calidad	4
Parada del subsistema y repercusión sobre otros	7
Parada total del sistema	10
Tiempo promedio para reparar (TPPR)	
Menos de 3 horas	1
Entre 3 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	4
Más de 24 horas	6
Impacto seguridad	
No provoca daños a personas e instalaciones	0
Provoca daños menores	3
Afecta instalaciones causando daños severos	5
Afecta seguridad humana	8

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

Los resultados se clasificaran de la siguiente forma:

- a) Baja criticidad < 40
- b) $40 \leq$ Media criticidad < 90
- c) $90 <$ Alta criticidad

4.2.1. Frecuencia de fallas

A continuación se presentan el número de fallas por año y el valor correspondiente según nuestro criterio de evaluación.

Tabla 4-2. Frecuencia de fallas y categoría de fallas

	Frecuencia de fallas	Categoría de fallas
BAM	3	2
M-BAM	4	2
E-CEB	5	2
F-ARENA	2	2
F-CARTUCHO	2	2
B-LAVADO	6	2
M-B-LAVADO	3	2
SOP-LF	6	2
M-SOP-LF	3	2
T-BOMBA	3	2
M-T-BOMBA	4	2
T-T-BOMBA	3	2
B-LIMPIEZA	4	2
M-B-LIMPIEZA	4	2
BASTIDOR	12	3
COMP-SOPLANTE	6	2
M-COMP-SOPLANTE	4	2
B-LAVADO	5	2
M-B-LAVADO	4	2
BAT	3	2
M-BAT	4	2

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

4.2.2. Impacto operacional

El impacto operacional ha sido calculado tomando en cuenta la producción anual en m³, el costo por m³ y lo que se deja de percibir por concepto de parada.

Ver Anexo B

Tabla 4-3. Impacto operacional

	Impacto operacional
BAM	2
M-BAM	2
E-CEB	4
F-ARENA	4
F-CARTUCHO	4
B-LAVADO	4
M-B-LAVADO	4
SOP-LF	4
M-SOP-LF	4
T-BOMBA	7
M-T-BOMBA	7
T-T-BOMBA	4
B-LIMPIEZA	4
M-B-LIMPIEZA	4
BASTIDOR	4
COMP-SOPLANTE	4
M-COMP-SOPLANTE	4
B-LAVADO	4
M-B-LAVADO	4
BAT	4
M-BAT	4

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

4.2.3. Flexibilidad operacional

Según listado de equipos en stock se resuelve que hay disponibilidad de repuesto en todas las áreas.

Tabla 4-4. Flexibilidad operacional

	Flexibilidad operacional
BAM	2
M-BAM	2
E-CEB	2
F-ARENA	2
F-CARTUCHO	2
B-LAVADO	2
M-B-LAVADO	2
SOP-LF	2
M-SOP-LF	2
T-BOMBA	2
M-T-BOMBA	2
T-T-BOMBA	2
B-LIMPIEZA	2
M-B-LIMPIEZA	2
BASTIDOR	2
COMP-SOPLANTE	2
M-COMP-SOPLANTE	2
B-LAVADO	2
M-B-LAVADO	2
BAT	2
M-BAT	2

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

4.2.4. Tiempo promedio para reparar (TPPR)

Según desglose de paradas se ha determinado el tiempo promedio correspondiente para éstas.

Tabla 4-5. Tiempo promedio para reparar

	TPPR
BAM	2
M-BAM	4
E-CEB	2
F-ARENA	1
F-CARTUCHO	1

Tabla 4-5. Tiempo promedio para reparar (continuación)

	TPPR
B-LAVADO	2
M-B-LAVADO	4
SOP-LF	1
M-SOP-LF	2
T-BOMBA	4
M-T-BOMBA	4
T-T-BOMBA	4
B-LIMPIEZA	2
M-B-LIMPIEZA	4
BASTIDOR	4
COMP-SOPLANTE	2
M-COMP-SOPLANTE	4
B-LAVADO	2
M-B-LAVADO	4
BAT	2
M-BAT	4

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

4.2.5. Costo de mantenimiento

Según información recabada en documentos sobre presupuesto disponible, los resultados son los siguientes.

Tabla 4-6. Costos por mantenimiento

	Costo mantenimiento
BAM	5
M-BAM	5
E-CEB	2
F-ARENA	7
F-CARTUCHO	7
B-LAVADO	2
M-B-LAVADO	5
SOP-LF	2
M-SOP-LF	2
T-BOMBA	10
M-T-BOMBA	10
T-T-BOMBA	10
B-LIMPIEZA	2
M-B-LIMPIEZA	5

Tabla 4-6. Costos por mantenimiento (continuación)

	Costo mantenimiento
BASTIDOR	7
COMP-SOPLANTE	2
M-COMP-SOPLANTE	5
B-LAVADO	2
M-B-LAVADO	5
BAT	10
M-BAT	5

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

4.2.6. Impacto en la seguridad

Se presentan los resultados de este estudio.

Tabla 4-7. Impacto de seguridad

	Impacto seguridad
BAM	0
M-BAM	0
E-CEB	0
F-ARENA	0
F-CARTUCHO	0
B-LAVADO	0
M-B-LAVADO	0
SOP-LF	0
M-SOP-LF	0
T-BOMBA	0
M-T-BOMBA	0
T-T-BOMBA	0
B-LIMPIEZA	0
M-B-LIMPIEZA	0
BASTIDOR	3
COMP-SOPLANTE	0
M-COMP-SOPLANTE	0
B-LAVADO	0
M-B-LAVADO	0
BAT	0
M-BAT	0

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

4.2.7. Impacto en el medio ambiente

Se presentan los resultados de éste estudio.

Tabla 4-8. Impacto ambiental

	Impacto ambiental
BAM	0
M-BAM	0
E-CEB	0
F-ARENA	0
F-CARTUCHO	0
B-LAVADO	0
M-B-LAVADO	0
SOP-LF	0
M-SOP-LF	0
T-BOMBA	0
M-T-BOMBA	0
T-T-BOMBA	0
B-LIMPIEZA	0
M-B-LIMPIEZA	0
BASTIDOR	0
COMP-SOPLANTE	0
M-COMP-SOPLANTE	0
B-LAVADO	0
M-B-LAVADO	0
BAT	0
M-BAT	0

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba.

4.3. RESULTADO ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Una vez establecidos los valores de todos los criterios de evaluación, corresponde realizar el cálculo final y así determinar los elementos más críticos del sistema. La tabla que detalla todos los valores y resultados se encuentra en el ANEXO B

La siguiente figura muestra un diagrama de barras correspondiente a los resultados mostrados en la Tabla B-1 (ver Anexo B), donde se pueden identificar por color

rojo los elementos de alta criticidad, amarillo media criticidad, y verde para los de baja criticidad.



Fuente: Análisis de criticidad.

Gráfico 4-6. Diagrama de barras detallando niveles de criticidad

Del diagrama se desprende que los componentes más críticos son los siguientes.

- a) T-BOMBA: Bomba de alta presión
- b) M-T-BOMBA: Motor eléctrico
- c) BASTIDORES

4.4. RESULTADOS AMEF

Para el desarrollo del análisis de modos y efectos de falla se toman en cuenta los resultados del análisis de criticidad. Los cuales corresponden a los mencionados en el punto anterior.

Luego se procederá a calcular el IPR (índice potencial de riesgo) para determinar las fallas más relevantes del sistema.

$$IPR = OCURRENCIA * SEVERIDAD * DETECCIÓN$$

4.4.1. AMEF Bomba de alta presión

Tabla 4-9. AMEF Bomba alta presión

Falla potencial				Controles actuales	Evaluación			
Modo de falla	Efecto de falla	Causas de falla	Nª de falla		O	S	D	IPR
Bomba no eleva agua	No hay producción de agua	Sentido de giro equivocado	1	Verificar sentido de giro	1	4	1	4
		Bomba no cebada	2	Revisar posibles pérdidas e tubería de aspiración o juntas	5	4	2	40
		Velocidad de giro baja	3	Comprobar velocidad, posible consumo excesivo o baja frecuencia	6	3	2	36
		Conducto de rodete obstruido	4	Desatascar conductos	1	5	4	20
		Toma aire tubo de aspiración	5	Probar a presión tuberías incluyendo bomba y detectar escapes	1	3	4	12
Caudal insuficiente	Afecta a la producción	Válvula parcialmente obstruida	6	Limpiar obstrucción	1	4	4	16
		Poca sumergencia	7	Sumergir más la válvula, reducir caudal	1	4	4	16
		Conducto de rodete obstruido	8	Desatascar conductos	1	4	4	16
		Toma aire tubo de aspiración	9	Probar a presión tuberías, incluyendo bomba y detectar escapes	1	3	4	12
		Toma de aire en prensa estopa o sello mecánico	10	Comprobar cierre hidráulico	1	4	4	16

Tabla 4-9. AMEF Bomba alta presión (continuación)

	Desgaste de piezas internas	11	Cambiar las piezas desgastadas	2	6	3	36
	Fuga en tubería de impulsión	12	Probar presión de tubería y eliminar fugas	2	7	2	28
La potencia absorbida superior a la prevista	Altura real de la instalación es inferior a la suministrada por la bomba	13	Reducir diámetro de rodete	1	3	4	12
	Peso específico y viscosidad superior a lo previsto	14	Reducir caudal con la válvula reguladora o cambio de motor	1	2	6	12
	Prensa estopa muy apretado	15	Aflojar tuercas	2	4	5	40
	Velocidad alta	16	Reducir velocidad, reducir diámetro de rodete	2	4	4	32
	Demasiado consumo	17	Verificar tensión red, que el eje gire a mano	3	4	3	36
La bomba se desceba después de arrancar	Excesiva altura de aspiración	18	Acelerar la bomba al nivel del agua, cambiar bomba por otra de menor NSPHr, mayor diámetro de la tubería	1	3	4	12
	Toma de aire en prensa estopa o sello mecánico	19	Comprobar cierre hidráulico	1	4	4	16
	Toma de aire en aspiración	20	Probar a presión la tubería de aspiración, incluyendo la bomba y observar cualquier fuga de liquido	1	4	4	16
	NSPHr < NSPHd	21	Disminuir NSPHr de la bomba, aumentar NSPHd de la instalación	1	4	5	20

Tabla 4-9. AMEF Bomba alta presión (continuación)

Prensa estopa o sello mecánico gotea e exceso		Falta empaquetadura, está desgastada o no es apropiada	22	Añadir empaquetadura, montar la apropiada	4	6	4	96
		Eje desgastado, camisa del eje rayado	23	Rectificar eje o camisa del eje	3	5	4	60
		Cierre mecánico desgastado	24	Cambiar sello por uno nuevo	3	5	5	75
Bomba vibra		Cimentación defectuosa	25	Corregir defecto	1	4	5	20
		Alineación incorrecta	26	Comprobar alineamiento	5	6	3	90
		Desequilibrio del rodete por rotura u obstrucción parcial	27	Cambiar rodete, limpiar rodete	5	6	3	90
		Eje doblado	28	Enderezar eje o cambiarlo por uno nuevo	1	6	1	6
Bomba vibra		Aire en el líquido	29	Desairear el líquido o evitar su entrada en la bomba	1	3	6	18
		Cavitación	30	Cambiar las condiciones de trabajo de la bomba en la instalación	2	4	5	40
Cojinetes o rodamientos se calientan	No hay producción de agua Afecta a la producción	Alineación incorrecta	31	Corregir alineamiento	5	6	3	90
		La tubería produce tensiones sobre la bomba	32	Eliminar tensiones soltando tuberías o colcar juntas de expansión	1	4	6	24
		Empuje axial elevado	33	Limpiar orificios de compensación del rodete, ajustar juego de aro de cierre	1	3	6	18

Tabla 4-9. AMEF Bomba alta presión (continuación)

		Mal engrase, grasa mala calidad o exceso de esta. Falta de aceite	34	Emplear grasa de buena calidad y en la cantidad recomendada, reponer niveles de aceite	5	6	2	60
--	--	---	----	--	---	---	---	----

Fuente: Resultados análisis de criticidad.

4.4.2. AMEF Motor eléctrico

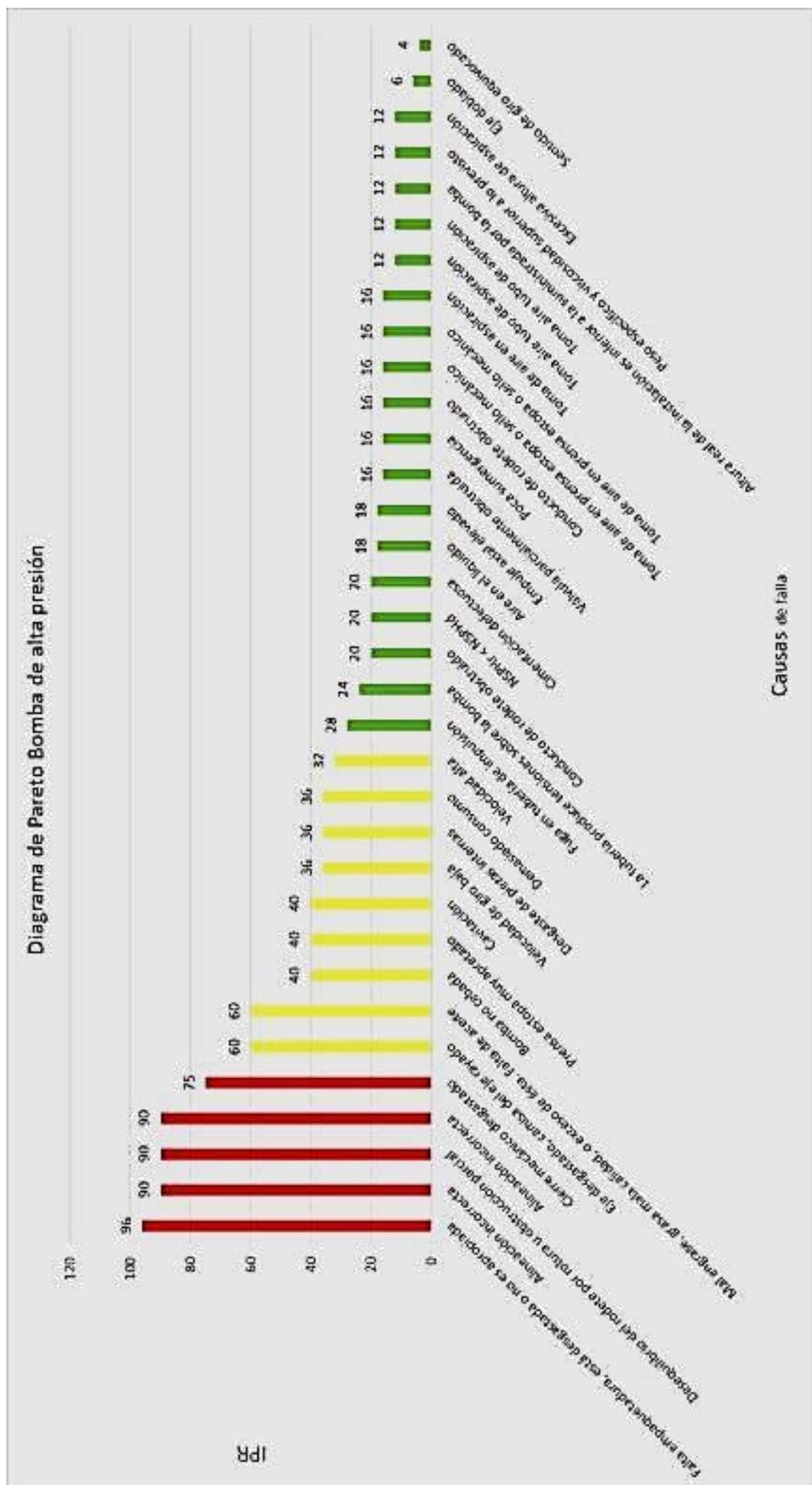
Tabla 4-10. AMEF Motor eléctrico

Falla potencial				Controles actuales	Evaluación			
Modo de falla	Efecto de falla	Causa de falla	Nº de falla		O	S	D	IPR
El motor no gira	No hay producción de agua	Bobinado roto o quebrado	34	Balancear las cargas	2	5	1	10
		Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso	35	Inspección de las conexiones	1	4	2	8
		Fallo de alimentación del motor	36	Inspección de las conexiones	1	4	2	8
		Eje bloqueado por rodamientos dañados	37	Se realiza cambio de rodamientos	3	4	2	24
Altas vibraciones	Vibraciones fuera de norma	Eje doblado	38	Cambiar eje	1	5	1	5
		Rodamientos en mal estado	39	Se realiza cambio de rodamiento	3	4	2	24
		Desalineación con el elemento que mueve	40	Realineación	5	4	2	40
		Desequilibrio en rotor de la bomba o del motor	41	Reequilibrar	5	4	2	40
		Acoplamiento dañado	42	Reemplazar acoplamientos	4	4	3	48
		Resonancias magnéticas debidas a excentricidades	43	Reequilibrar	1	2	5	10

Tabla 4-10. AMEF Motor eléctrico (Continuación)

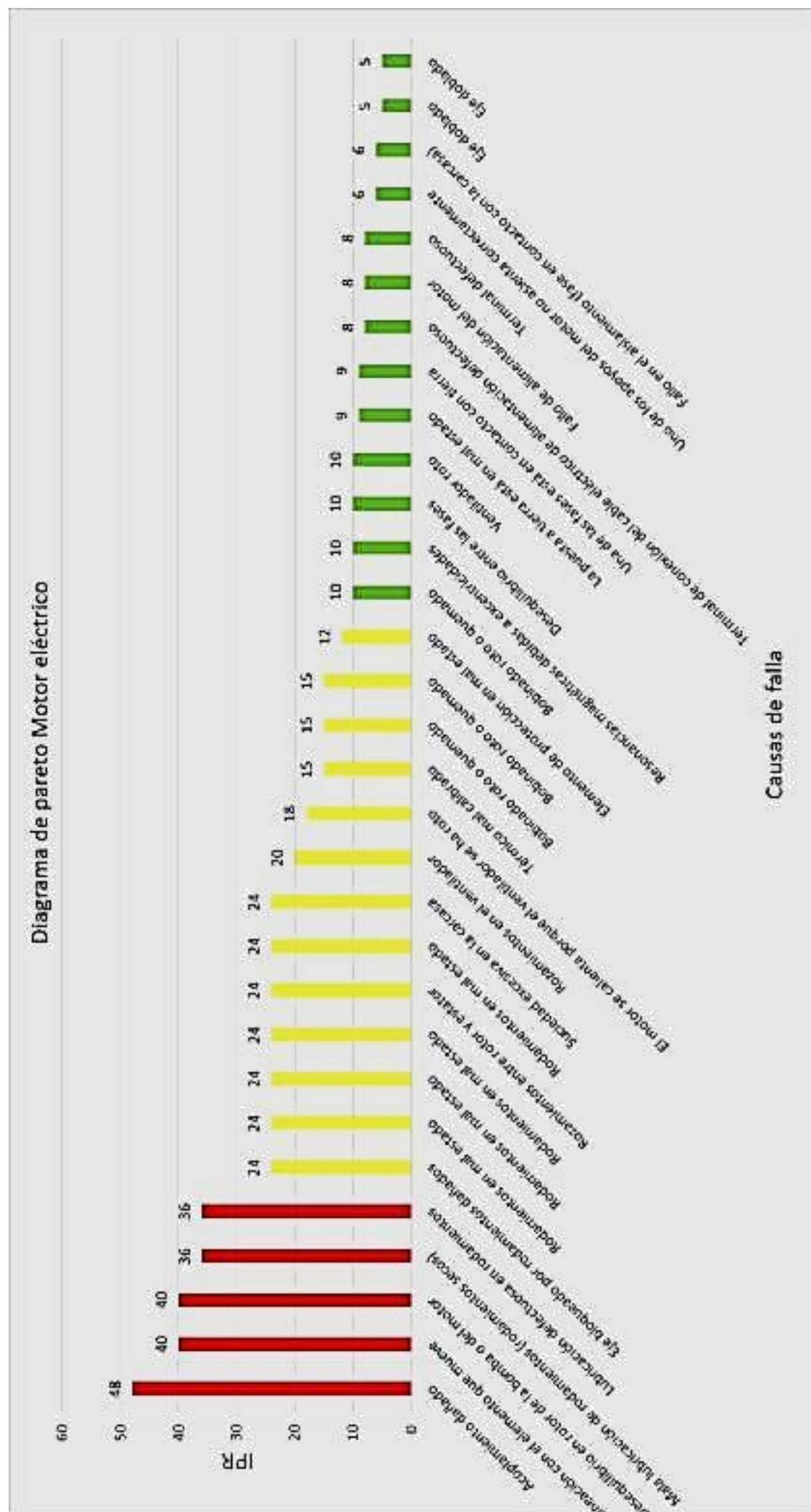
		Uno de los apoyos del motor no asienta correctamente	44	Corregir apoyo	3	5	1	15
Térmico salta	Se detiene el motor	Térmico mal calibrado	45	Recalibración	3	5	1	15
		Bobinado roto o quemado	46	Embobinado	3	5	1	15
		Rodamientos en mal estado	47	Se realiza cambio de rodamiento	3	4	2	24
		Desequilibrio entre las fases	48	Equilibrar cargas	1	2	5	10
		El motor se calienta porque el ventilador se ha roto	49	Reponer ventilador	3	6	1	18
Protección por corto circuito salta	Se detiene el motor	Bobinado roto o quemado	50	Embobinado	3	5	1	15
		Terminal defectuoso	51	Chequear terminal	2	2	2	8
		Elemento de protección en mal estado	52	Reemplazar elementos de protección	1	6	2	12
Protección por derivación salta	Se detiene el motor	Fallo en el aislamiento (fase en contacto con la carcasa)	53	Revisar aislamiento	1	3	2	6
		La puesta a tierra esta en mal estado	54	Reparar puesta a tierra	1	3	3	9
		Una de las fases está en contacto con tierra	55	Aislar conexiones	1	3	3	9
Ruido excesivo	Ruido fuera de norma	Eje doblado	56	Cambiar eje	1	5	1	5
		Rodamientos en mal estado	57	Se realiza cambio de rodamiento	3	4	2	24
		Rozamientos entre rotor y estator	58	Revisar montaje	2	4	3	24
		Rozamientos en el ventilador	59	Revisar montaje	2	5	2	20
		Mala lubricación en rodamientos (rodamientos secos)	60	Lubricar	3	6	2	36
Alta temperatura de la carcasa externa	Salta el térmico	Rodamientos en mal estado	61	Se realiza cambio de rodamiento	3	4	2	24
		Suciedad excesiva en la carcasa	62	Limpieza	2	4	3	24
		Ventilador roto	63	Reponer ventilador	2	5	1	10
		Lubricación defectuosa en rodamientos	64	Lubricar	3	6	2	36

Fuente: Resultados análisis de criticidad.



Fuente: Resultados AMEF bomba de alta presión.

Gráfico 4-7. Diagrama de Pareto bomba de alta presión



Fuente: Resultados AMEF motor eléctrico.

Gráfico 4-8. Diagrama de Pareto motor eléctrico

Las causas de fallas con mayor riesgo (resaltados en rojo), corresponden a las fallas a las cuales se les debe prestar mayor atención desde el punto de vista de mantenimiento rutinario y planes de mantenimiento preventivo en general, con la finalidad de minimizar estos modos de fallas potenciales. En la siguiente tabla se detallan los modos de fallas potenciales de acuerdo al IPR (índice potencial de riesgo) calculado en el análisis de modos y efectos de fallas, aplicado a los equipos de mayor criticidad en la planta desalinizadora.

4.4.3. Índice potencial de riesgo bomba de alta presión

Tabla 4-11. AMEF Bomba de alta presión

Nº de falla	Descripción	IPR
22	Falta empaquetadura, está desgastada o no es apropiada	96
26	Alineación incorrecta	90
27	Desequilibrio del rodete por rotura u obstrucción parcial	90
31	Alineación incorrecta	90
24	Cierre mecánico desgastado	75

Fuente: Resultados AMEF Bomba de alta presión.

4.4.4. Índice potencial de riesgo motor eléctrico

Tabla 4-12. AMEF Motor eléctrico

Nº de falla	Descripción	IPR
42	Acoplamiento dañado	48
40	Desalineación con el elemento que mueve	40
41	Desequilibrio en rotor de la bomba o del motor	40
60	Mala lubricación de rodamientos (rodamientos secos)	36
64	Lubricación defectuosa en rodamientos	36

Fuente: Resultados AMEF Motor eléctrico.

4.5. INDICACIONES SOBRE MANTENIMIENTO

4.5.1. Bomba de alta presión

4.5.1.1. Empaquetadura

Para que las empaquetaduras puedan proporcionar un servicio satisfactorio se requiere no solo de un buen montaje, sino también que al seleccionarlas se tenga en cuenta los siguientes puntos:

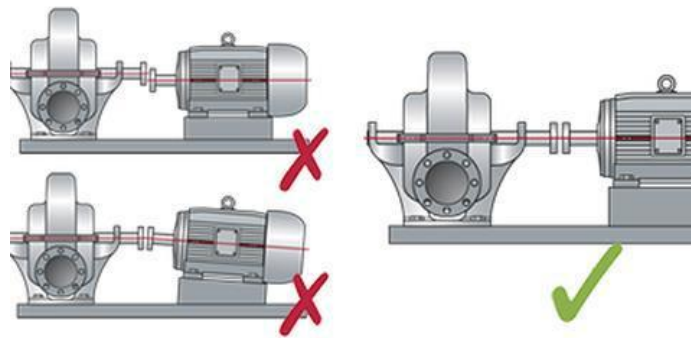
- a) El tipo de empaquetadura debe ser adecuado al líquido a obturar.
- b) Las dimensiones de la empaquetadura deben ser las precisas para calzar correctamente en la caja de la prensa-estopa.
- c) La velocidad de superficie o periférica del eje no debe sobrepasar a la recomendada para la empaquetadura escogida.
- d) La temperatura del líquido no debe sobrepasar a la máxima soportada por la empaquetadura.

4.5.1.2. Desalineación

Es una condición en la que los centros de los ejes acoplados no coinciden. La mayor parte de casos de desalineación son combinación de desalineación paralela y angular. Como regla general, se basa en vibraciones dominante a dos veces la velocidad de giro, con niveles altos a la velocidad de giro en la dirección axial, o bien en la dirección vertical u horizontal.

La desalineación está causada por las condiciones siguientes:

- a) Ensamblado impreciso de los componentes.
- b) La posición relativa de los componentes se altera después del montaje.
- c) Distorsión en soportes flexibles debido a torque.
- d) Expansión de la temperatura de la máquina debido al alza de temperatura.



Fuente: www.glennhomej.wordpress.com

Figura 4-4. Desalineación paralela y angular

4.5.1.3. Cierre mecánico

Esencialmente el sello mecánico consiste de dos superficies anulares de rozamiento que están empujándose una contra otra. Una superficie de rozamiento está fija a la parte estática de la máquina, mientras que la otra esta fija al rotor y gira junto con éste. El fluido a ser sellado penetra entre ambas superficies de rozamiento formando una película de lubricación la cual fluye entre las superficies constantemente. La presión a sellar se reduce linealmente a través de las superficies de rozamiento. En su forma más simple, un sello mecánico consiste de un anillo fijo sobre el rotor, el cual es empujado contra la carcasa de la máquina.

4.5.2. Motor eléctrico

4.5.2.1. Acoplamientos

Los acoplamientos tienen por función prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí. Si dos ejes se pudieran alinear perfectamente, podrían ser conectados con dos cubos con bridas o pernos. Una vez realizado se tiene la seguridad que ninguna de las dos máquinas se moverá sobre la cimentación y que ésta no se asentará.

Es un hecho real que siempre habrá alguna desalineación entre un eje impulsor y un eje impulsado, por lo cual deben ocuparse “acoplamientos flexibles”. Es decir el propósito fundamental de los acoplamientos flexibles es transmitir el par de torsión requerido desde el eje impulsor al impulsado y compensar el desalineamiento angular, paralelo o una combinación de ambos, con numerosas funciones complementarias como proporcionar desplazamiento axial y así mismo restringirlo.

4.5.2.2. Lubricación

En los motores que tienen engrasadores, se recomienda lubricar durante el funcionamiento. Si por razones de seguridad no se puede efectuar la lubricación con el motor en funcionamiento, se recomienda inyectar la mitad de la cantidad de grasa necesaria estando el motor parado, hacerlo funcionar un minuto a plena marcha, pararlo e inyectar el resto de la grasa.

No se recomienda inyectar toda la grasa de una sola vez con el motor parado, pues esto puede hacer que penetre lubricante en la parte interna del mismo (bobinado), dañándolo.

En el caso de los rodamientos, con la solución de lubricación correcta se podrá aumentar el tiempo operativo y la productividad. Además de ayudar a reducir el fallo prematuro de los rodamientos y las paradas no planificadas de las máquinas, una lubricación adecuada puede aumentar la eficiencia energética.

4.5.3. Membranas semipermeables

Cuando el agua que llega a las membranas contiene sustancias tales como óxidos metálicos, silicatos de aluminio, materia orgánica, partículas coloidales, microorganismos y otros contaminantes menos frecuentes se producen ensuciamientos que afectan a los elementos que componen dichas membranas.

Un mal o insuficiente funcionamiento del pre-tratamiento, una mala regulación de la conversión de la planta, inadecuada dosificación de reactivos o cambios no detectados en la calidad del agua de alimentación, aceleran los procesos de ensuciamiento en la membrana, y pueden incidir negativamente en su rendimiento.

Los síntomas de un ensuciamiento, no siempre detectables inmediatamente, se manifiestan habitualmente como pérdidas de la calidad del agua producto, disminución de la producción o aumento de las presiones de trabajo. Cuando se producen cambios en los parámetros normalizados de funcionamiento en cualquier punto del bastidor, presión diferencial, caudal de permeado y paso de sales; debe programarse cuanto antes una limpieza con el fin de recuperar la situación original.

Síntomas de ensuciamiento de la membrana.

- a) Incremento de alimentación – presión diferencial de la salmuera.
- b) Descenso del flujo producto normalizado
- c) Aumento de flujo producto normalizado.
- d) Aumento del paso de sal normalizado.
- e) Disminución del paso de sal normalizado.



Fuente: Guía desalación.

Figura 4-5. Problemas durante la operación (incrustación)

4.5.3.1. Limpieza de membranas

Los tipos de ensuciamientos más comunes de las membranas usadas en el tratamiento de agua son:

- a) Depósitos e incrustaciones inorgánicas
- b) Ensuciamiento coloidal.
- c) Materia orgánica, colonizaciones microbiológicas y formación de bio-películas.



Fuente: Guía desalación.

Figura 4-6. Depósito de materia coloidal en la superficie de una membrana

Las soluciones de limpieza deben prepararse con agua de buena calidad y sin cloro. Se recomienda el empleo de agua permeada. Los productos químicos de limpieza deben añadirse en el agua y asegurarse que los cambios de pH y temperatura se realizan gradualmente. En ocasiones, la suciedad que se debe eliminar requiere una solución química a una temperatura del agua superior a la del medio ambiente. El intervalo frecuentemente oscila entre 15°C y 35°C.

Antes de bombear la solución de limpieza, se debe comprobar la mezcla completa y la total disolución de los productos químicos empleados. Para calcular el volumen de solución de limpieza requerida (y las dimensiones del sistema de limpieza) debe tenerse en cuenta el número de membranas que serán limpiadas (volumen de las cajas de presión) y el volumen del circuito de limpieza.

Durante toda la fase de limpieza, las válvulas de concentrado y permeado de retorno al tanque de limpieza, deben mantenerse abiertas, pero la válvula de permeado al tanque de agua producto estará cerrada durante todo el proceso y sólo se abrirá una vez comprobada que la calidad del agua permeada es óptima.

Una vez finalizado el aclarado, se pone en marcha la instalación desechando el agua producto durante 30 minutos al caudal nominal de diseño, para garantizar la total eliminación de trazas de productos químicos de limpieza en la línea de agua tratada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Realizado el estudio y análisis de los procesos y principales componentes del sistema de desalinización de la planta la chimba, determinamos que la zona más crítica es la etapa de desalación, que es donde se realiza el ingreso del agua pre tratada hacia los bastidores de osmosis inversa por medio de bombas de alta presión, obteniendo así el agua producto que pasa a la etapa final de post-tratamiento y distribución, y la salmuera, que ayuda al motor eléctrico principal a impulsar la bomba de alta presión antes de ser devuelta al mar.

Si bien cada etapa y componente en el proceso son importantes, se determina gracias al análisis de criticidad que los equipos más relevantes son la bomba de alta presión y su motor, y los bastidores de osmosis inversa, que representan de alguna manera el eje central de todo el sistema, ya que en estas zonas se produce la mayor concentración de energía y se lleva a cabo la filtración total del agua de mar. Además nos muestra que los componentes de mediana criticidad corresponden a la serie de motores de limpieza de filtros pre-tratantes, dejando en claro que el mantenimiento debe ir enfocado en preservar en óptimas condiciones las membranas semipermeables de los bastidores.

Obtenidos los componentes más críticos del sistema, se realiza un análisis de modos y efectos de fallas para así determinar las funciones que deben realizar dichos componentes y que es lo que se espera de ellos dentro de su contexto operacional, considerando qué fallas son las que puede llegar a presentar y qué medidas adoptar para afrontarlas de mejor manera.

Finalmente concluimos que el uso de estas herramientas (Análisis de criticidad y Análisis y modos de efectos de fallas) nos sirven para obtener, de manera global, una metodología de mantenimiento ordenada y óptima en cuanto a recursos económicos y de personal, y además, de qué manera podemos proceder al momento de alguna falla, asegurando que las intervenciones sean las correctas y la calidad final del producto sea la requerida, que en este caso es el agua para consumo de la ciudad de Antofagasta.

BIBLIOGRAFÍA

UOP FLUID SYSTEMS. Manual práctico de ósmosis inversa, conceptos y experiencias basados en 25 años de innovación. Disponible en biblioteca casa central UTFSM.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Edición en español: Aladon LLC, 2004 ISBN 09539603-2-3

DERDERIAN Morales, Juan Carlos. Análisis de criticidad para máquinas convencionales del taller institucional sede José Miguel Carrera. Memoria (Ingeniería de Ejecución en Mantenimiento Industrial) Viña del Mar, Chile: UTFSM. Sede Viña del Mar, 2014. 100h.

MINISTERIO DE SANIDAD Y POLÍTICA SOCIAL, Gobierno de España. Guía de desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. 2009 [en línea] < www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf>

AGUAS ANTOFAGASTA. Ruta del agua [en línea] [Consulta: Junio 2015] < <http://www3.aguasantofagasta.cl/empresa/ruta-del-agua.html>>.

YOUTUBE. Operación y mantenimiento de plantas desaladoras. [en línea] [Consulta: Octubre 2015] < https://www.youtube.com/watch?v=_zFQxZAYNAg>

PIZARRO, Félix. Apuntes de planificación y control del mantenimiento [diapositivas] UTFSM 2013. 46 diapositivas.

ANEXOS

ANEXO A: PROCESOS DE SEPARACIÓN

Tabla A-1. Procesos de separación

Micrometros (Escala log)	Microscopio ST				Microscopio Electrónico Barrido		Microscopio Óptico		Ojo Humano	
	Iones		Moléculas		Macromoléculas		Micropartículas		Macropartículas	
	0.001		0.01		0.1		1		100	
Angstroms (Escala log)	1		10		1,000		10 ⁴		10 ⁶	
Peso Molecular Aproximado	100		1,000		10,000		100,000		500,000	
Tamaño Relativo de Sustancias Comunes	Ácidos		Proteínas / Enzimas		Células Levadura					
	Sales Disolución		Carbón		Pigmentos Píctura					
	Radio Alfínico		Progenio / Endotoxinas		Bacterias				Arenas	
	Iones Metal		Virus		Harna Molida				Carbón Activado	
	Tintas Sintéticas		Emulsiones / Latex						Resinas IX	
	Pigmentos		Slime Coloidal		Tintes Natural				Polen	
	Herbicidas		Celulosa		Carbon Polvo				Cabello Humano	
	Azúcar		Almidón							
Proceso de Separación	Ósmosis Inversa		Ultrafiltración		Filtración partículas					
	nanofiltración		microfiltración							

Fuente: Guía de desalación

ANEXO B: ANALISIS DE CRITICIDAD

Tabla B-1. Análisis de criticidad

	4 Años	Fallas x año	Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	TPPR	Costo de mantenimiento	Impacto seguridad	Impacto ambiente	Consecuencia	CRITICIDAD
BAM	13	3	2	2	2	2	5	0	0	13	26
M-BAM	16	4	2	2	2	4	5	0	0	21	42
E-CEB	20	5	2	4	2	2	2	0	0	18	36
F-ARENA	8	2	2	4	2	1	7	0	0	15	30
F-CARTUCHO	8	2	2	4	2	1	7	0	0	15	30
B-LAVADO	24	6	2	4	2	2	2	0	0	18	36
M-B-LAVADO	12	3	2	4	2	4	5	0	0	37	74
SOP-LF	24	6	2	4	2	1	2	0	0	10	20
M-SOP-LF	10	3	2	4	2	2	2	0	0	18	36
T-BOMBA	12	3	2	7	2	4	10	0	0	66	132
M-T-BOMBA	16	4	2	7	2	4	10	0	0	66	132
T-T-BOMBA	12	3	2	4	2	4	10	0	0	42	84
B-LIMPIEZA	16	4	2	4	2	2	2	0	0	18	36
M-B-LIMPIEZA	16	4	2	4	2	4	5	0	0	37	74
BASTIDOR	48	12	3	4	2	4	7	3	0	42	126
COMP-SOPLANTE	22	6	2	4	2	2	2	0	0	18	36
M-COMP-SOPLANTE	16	4	2	4	2	4	5	0	0	37	74
B-LAVADO	18	5	2	4	2	2	2	0	0	18	36
M-B-LAVADO	16	4	2	4	2	4	5	0	0	37	74
BAT	13	3	2	4	2	2	10	0	0	26	52
M-BAT	16	4	2	4	2	4	5	0	0	37	74
										PROMEDIO	60,00

Fuente: Programa de Mantenimiento La Chimba

ANEXO C: IMPACTO A LA PRODUCCIÓN

Tabla C-1. Impacto a la producción

	T* OP (Horas)	TPPR	T* Real	M3/HORA	M3 Producidos/Año	Tasa de Producción Promedio	N° Total de UN no Producidas	Costo/M3	Impacto Producción
BAM	8760	200	8560	2300	19688000	2300	460000	1,286	USD 591.560,00
M-BAM	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00
E-CEB	8760	50	8710	2300	20033000	2300	115000	1,286	USD 147.890,00
F-ARENA	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00
F-CARTUCHO	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00
B-LAVADO	8760	200	8560	2300	19688000	2300	460000	1,286	USD 591.560,00
M-B-LAVADO	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00
SOP-LF	8760	50	8710	2300	20033000	2300	115000	1,286	USD 147.890,00
M-SOP-LF	8760	25	8735	2300	20090500	2300	57500	1,286	USD 73.945,00
T-BOMBA	8760	400	8360	2300	19228000	2300	920000	1,286	USD 1.183.120,00
M-T-BOMBA	8760	200	8560	2300	19688000	2300	460000	1,286	USD 591.560,00
T-T-BOMBA	8760	200	8560	2300	19688000	2300	460000	1,286	USD 591.560,00
B-LIMPIEZA	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00
M-B-LIMPIEZA	8760	50	8710	2300	20033000	2300	115000	1,286	USD 147.890,00
BASTIDOR	8760	700	8060	2300	18338000	2300	1610000	1,286	USD 2.070.460,00
COMP-SOPLANTE	8760	200	8560	2300	19688000	2300	460000	1,286	USD 591.560,00
M-COMP-SOPLANTE	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00
B-LAVADO	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00
M-B-LAVADO	8760	70	8690	2300	19987000	2300	161000	1,286	USD 207.046,00
BAT	8760	200	8560	2300	19688000	2300	460000	1,286	USD 591.560,00
M-BAT	8760	100	8660	2300	19918000	2300	230000	1,286	USD 295.780,00

Fuente: Programa de mantenimiento La Chimba