

2018

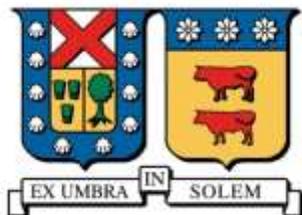
SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO Y ESTUDIO DE CONFIABILIDAD DE EQUIPOS CRÍTICOS DE PLANTA DE PRODUCTOS QUÍMICOS

SÁEZ POBLETE, MARÍA FRANCISCA

<http://hdl.handle.net/11673/43484>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAISO – CHILE



**“SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE
MANTENIMIENTO Y ESTUDIO DE
CONFIABILIDAD DE EQUIPOS CRÍTICOS DE
PLANTA DE PRODUCTOS QUÍMICOS”**

MARÍA FRANCISCA SÁEZ POBLETE

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA: DR.-ING JAIME NÚÑEZ SEGOVIA
PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUSMÁN BONET

OCTUBRE – 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero partir agradeciendo a mis padres Guillermo y Litzi, a mis papis...que me impulsaron siempre a ser mejor, a creer que podía y me dieron todas las herramientas necesarias para enfrentar la vida. Por su amor incondicional y su apoyo les estaré para siempre agradecida. También a mis hermanas Verónica y Barbara que también me alentaron en esta carrera de largo aliento que fue terminar la universidad.

A mi marido Eduardo, que nos conocimos en el periodo final de mi carrera, que fue quien me dio el impulso final para terminar la carrera. Por alentarme y quererme.

A mi amiga Ana Záldivar, quien fue mi modelo a seguir en cuanto a estudios, por vivir conmigo y soportarme todos esos años. A mi amigo Sebastian Otazo, todas las noches de estudio y las de carrete. Y a mis amigas del colegio Piki, Denisse, Carlita y Cami, que cuento con su apoyo siempre.

A todos los Profesores que tuve en la Universidad, que de alguna u otra forma estamparon sus conocimientos dentro de mi cabeza. En especial a mi Profesor Jaime Núñez, muchas gracias por su paciencia, apoyo y guía en este trabajo.

A mis colegas de Enaex, en especial a Don Santiago Velásquez que me dio la oportunidad de conocer el maravillo mundo de una Planta química. Y a todos los colegas de la Sub gerencia de mantenimiento, que han tenido la paciencia de enseñarme.

RESUMEN

Este trabajo de título se realiza en la Planta de Nitrato de Amonio Prillex América S.A perteneciente a la empresa Enaex, en donde existe el interés de crear una base de datos que sistematice la información disponible de fallas y mantenimientos realizados a sus equipos de acuerdo al estándar ISO 14424 versión 2016, el cual describe toda la información que debe ser recolectada para su posterior gestión.

Para el desarrollo de esta base de datos se realiza un levantamiento de la información histórica de fallas y mantenimientos con una data de dos años atrás, que incluye 133 equipos de la Planta, distribuidos en los tres sistemas de información actuales: SAP, SIRI y Tronador, los que funcionan cada uno de manera independiente, dificultando la obtención rápida de información y realización de posteriores análisis. Esta información es evaluada destacando las falencias presentes en los sistemas de información y comparada con los requisitos del estándar ISO14224-16.

La información presente en los tres sistemas, es sistematizada mediante la creación de una base de datos, en un formato sencillo de seguir utilizando a futuro, pero con todos los requerimientos de información del estándar ISO14224-16.

Los equipos presentes en la base de datos son jerarquizados de acuerdo a su criticidad, la que fue evaluada de acuerdo a la frecuencia de fallas, impactos operacionales y medioambientales, y costos de mantenimiento.

Luego, se desarrolla a modo de plan piloto un estudio de confiabilidad, eligiendo del listado de equipos críticos los que tienen un mayor interés para la empresa, obteniendo sus valores de confiabilidad y gráficas características mediante la utilización del software de confiabilidad Weibull++, de Reliasoft.

Finalmente, con los resultados del estudio de confiabilidad se proponen mejoras en sus planes de mantenimientos actuales, los cuales no responden a las necesidades de los equipos, ya que no atacan los modos de falla que presentan o las frecuencias correctas de mantenimiento preventivo.

ABSTRACT

This work is done at Prillex America S.A Plant of Ammonium Nitrate that belongs to Enaex enterprise, where there is an interest in the creation of a database to systemize the available information of failures and executed maintenance in their equipment based on ISO14224-16 standard, in which is described all the information that must be collected for their subsequent management.

For the realization of this database, historical information and maintenance is collected from the last two years ago, that includes 133 mechanical equipment distributed in the three current information systems: SAP, SIRI y Tronador. These systems work in an independent way, making it difficult to obtain quick information and develop a subsequent analyzes. This information is analyzed highlighting their flaws in each information system compared with the information required for the standard.

The information from the three systems is systematized through the creation of a data base, in an easy format to be used in the future, but with all the information requirements of the standard.

The equipment that belongs to this databased are hierarchized in accordance to their criticality, which was evaluated in accordance with their failure frequency, operational and environmental impacts, and maintenance costs.

Then, as a pilot plan a reliability study is developed, choosing from the critical equipment those who had a greater interest for the company, getting their reliability values and characteristic graphics using the Weibull++ Reliasoft software.

Finally, having the results of the reliability software, improvements are proposed for the current equipment maintenance plans, which do not correspond to the necessity of the equipment, since they do not attack the failure modes that they display or the correct frequency of preventive maintenance.

GLOSARIO

ANFO: Amonium Nitrate Fuel Oil

AN: Ácido Nítrico

NA: Nitrato de amonio

PANNA: Planta de Ácido Nítrico y Nitrato De Amonio

Prill: Producto final del proceso de la Planta.

RM: Reability and Maintenance

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
GLOSARIO	v
ÍNDICE	vi
INTRODUCCIÓN	x
OBJETIVOS	xi
PLAN DE TRABAJO	xii
1. Antecedentes Generales De La Empresa Y Planta Prillex	14
1.1 Marco estratégico de la empresa.....	14
1.2 Plantas productoras	15
1.3 Productos.....	16
1.4 Ingresos	16
1.5 Antecedentes generales Planta Prillex América Enaex.....	17
2. Descripción Del Proceso Productivo Planta Prillex	21
2.1 Terminal de Amoniac y almacenamiento de Amoniac	22
2.2 Producción Ácido Nítrico	23
2.3 Producción de solución Nitrato de Amonio	24
2.4 Producción de Prill.....	25
2.5 Planta Matrices.....	26
3. Marco Teórico.....	28
3.1 Estándar ISO 14224-16.....	28
3.2 Confiabilidad.....	29
3.3 Modelos de distribución de probabilidad.....	31

3.3.1	Distribución Weibull.....	31
3.3.2	Distribución Exponencial.....	31
3.3.3	Distribución Lognormal	32
3.3.4	Distribución Gamma Generalizada	32
3.4	Curva de la Bañera o de Davies	33
3.5	Método de máxima verosimilitud (MLE)	35
3.6	Pruebas de ajuste de bondad	35
4.	Análisis De Requisitos De Información Según Estándar ISO 14224:2016.....	36
4.1	Identificación del equipo.....	36
4.2	Datos de falla	37
4.3	Datos de mantenimiento.....	41
5.	Levantamiento De Información De Fallas Y Mantenimientos	42
5.1	Fuentes de información presentes en la Planta	42
5.1.1	SAP	42
5.1.2	Sistemas de Investigación y Reportabilidad de incidentes (SIRI)	44
5.1.3	Tronador (Sistema de Producción Web).....	45
5.2	Calidad de la información de cada uno los sistemas de información.....	46
5.2.1	Análisis de calidad de datos en sistema SAP	46
5.2.2	Análisis de calidad de datos en Sistema SIRI	52
5.2.3	Análisis de calidad de datos en Sistema Tronador.....	54
5.3	Proceso de levantamiento de la información disponible en la Planta	56
6.	Base De Datos De Fallas Y Mantenimientos.....	61
6.1	Datos de equipos	62
6.2	Datos de falla	62
6.3	Datos de mantenimiento.....	62

7.	Jerarquización De Equipos	64
7.1	Evaluación factor frecuencia de falla (FF).....	67
7.2	Evaluación factor impacto operacional (IO)	68
7.3	Evaluación factor flexibilidad operacional (FO).....	69
7.4	Evaluación factor impacto en los costos de mantenimiento (CM).....	69
7.5	Evaluación factor impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)	70
7.6	Evaluación equipos de acuerdo a matriz de criticidad	70
7.7	Determinación de los equipos escogidos para Plan Piloto de Confiabilidad	71
7.7.1	Máquina ensacadora Haver (3640-11)	72
7.7.2	Bomba Mono emulsiones P-6857A	72
7.7.3	Secador S-9202_03B.....	73
8.	Estudio Piloto De Confiabilidad	75
8.1	Análisis de confiabilidad mediante Software Weibull ++	76
8.1.1	Máquina ensacadora 3640-11	79
8.1.2	Bomba P-6857A.....	81
8.1.3	Tambor Secador S-9202_03B.....	83
8.2	Determinación de modos de falla.....	85
8.2.1	Máquina Ensacadora 3640-11	85
8.2.2	Bomba P-6857A.....	86
8.2.3	Secador S-9202_03B.....	87
8.3	Planes de mantenimiento actuales y mejoras	88
8.3.1	Máquina ensacadora 3640-11	88
8.3.2	Bomba P-6857A.....	89
8.3.3	Secador S-9202_03B.....	90
	CONCLUSIONES	92

BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	96
Anexo 1: Áreas de cada PANNA.....	96
Anexo 2: Modos de falla equipos mecánicos y rotatorios	99
Anexo 3: Listado de equipos mecánicos incluidos en el estudio	101
Anexo 4: Evaluación criticidad equipos	105

INTRODUCCIÓN

Las empresas se encuentran en un mercado cada día más competitivo, donde es necesario ofrecer productos y servicios de mejor calidad, y a la vez disminuir los costos de producción. Esto parece ser contradictorio, pero una de las formas de lograrlo es a través de la confiabilidad operacional y el mantenimiento de sus equipos para obtener la máxima disponibilidad de estos. Para esto es necesario contar con sistema de datos históricos de fallas y mantenimientos para realizar análisis que conduzcan a una mejora de los planes de mantenimientos preventivos y predictivos.

Planta Prillex América, correspondiente a la planta productora de Nitrato de Amonio más grande del mundo y lugar donde se realiza este estudio, no cuenta con un sistema ordenado de datos históricos de fallas y mantenimientos que permita detectar causas, malos actores o realizar posteriores análisis. Es por esta razón que la compañía en la búsqueda de mejorar continuamente, solicita el levantamiento de información disponible existente, buscando estandarizar la información bajos los requerimientos de información del estándar ISO14224-16 y así poseer una base de datos histórica y que además puede seguir siendo utilizada a futuro.

Con las directrices de este estándar en la base de datos es posible desarrollar análisis de confiabilidad, de manera de estimar y optimizar los periodos de supervivencia de los equipos, mediante mejoras en sus planes de mantenimiento que ataquen las causas raíces de sus principales fallas.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es sistematizar la información de mantenimiento de sus equipos de acuerdo a la ISO14224 año 2016, para permitir el análisis de confiabilidad y disponibilidad con el fin de mejorar el desempeño de la Planta.

Para cumplir el propósito señalado se consideran los siguientes objetivos específicos:

- Realizar la descripción general del sistema de producción de la Planta, incluyendo un catastro de equipos incluidos en los planes de mantenimiento actuales.
- Analizar los requisitos de información de mantenimiento de equipos que establece el Estándar ISO 14224:2016, con el fin de definir los requisitos de sistematización de la información.
- Realizar el levantamiento de información de mantenimiento de equipos que posee la Planta, con la finalidad de verificar el cumplimiento de los requisitos del Estándar y las necesidades de estandarización de los datos.
- Crear la base de datos de mantenimiento de equipos de acuerdo a los requisitos del Estándar ISO 14224:2016, utilizando la información histórica que posee la empresa, relativa a las acciones de mantenimientos correctivos y preventivos de sus equipos.
- Realizar una jerarquización de criticidad de los equipos de la Planta, utilizando los criterios definidos por la empresa.
- Realizar a modo de Plan Piloto, un estudio de confiabilidad, de un sub-conjunto de los equipos críticos, que permita obtener resultados y conclusiones sobre el desempeño del equipo, con el fin de determinar mejoras en el plan de mantenimiento.

PLAN DE TRABAJO

A continuación, se describen los pasos mediante los cuales se desarrolla el plan de trabajo y la secuencia de desarrollo se muestra en la Figura 1.

- 1) Antecedentes generales de la empresa y Planta Prillex. Presentar los distintos productos de la empresa, su producción anual e ingresos. Sus Plantas y ubicaciones de estas a nivel nacional e internacional, su producción anual e ingresos.
- 2) Descripción del proceso productivo Planta Prillex. Detallar cada etapa del proceso productivo y los principales equipos y materias primas involucradas.
- 3) Marco Teórico: Descripción del Estándar ISO 14224:2016 y conceptos de confiabilidad a utilizar en el estudio piloto de confiabilidad.
- 4) Análisis de los requisitos de información según Estándar ISO 14224-16. Determinación de los requerimientos de información solicitados por el Estándar ISO 14224:2016.
- 5) Levantamiento de información de fallas y mantenimiento. Se presenta la información de cada uno de los sistemas de información y posteriormente se evalúa la calidad de la información de acuerdo a los requisitos del Estándar 14224:2016.
- 6) Base de datos de fallas y mantenimientos. Creación de una base de datos de acuerdo con los requisitos del estándar ISO 14424:2016, sistematizando la información actual disponible.
- 7) Jerarquización de equipos. Mediante la utilización de criterios se jerarquizan y seleccionan los equipos críticos que conformaran estudio piloto de confiabilidad
- 8) Estudio piloto de confiabilidad. Aplicación del software Weibull++ a los datos de fallas de un subconjunto de los equipos críticos, determinando mejoras en su plan de mantenimiento actual.

En la Figura 1 se presentan las etapas del plan de trabajo con los principales hitos del trabajo a realizar.

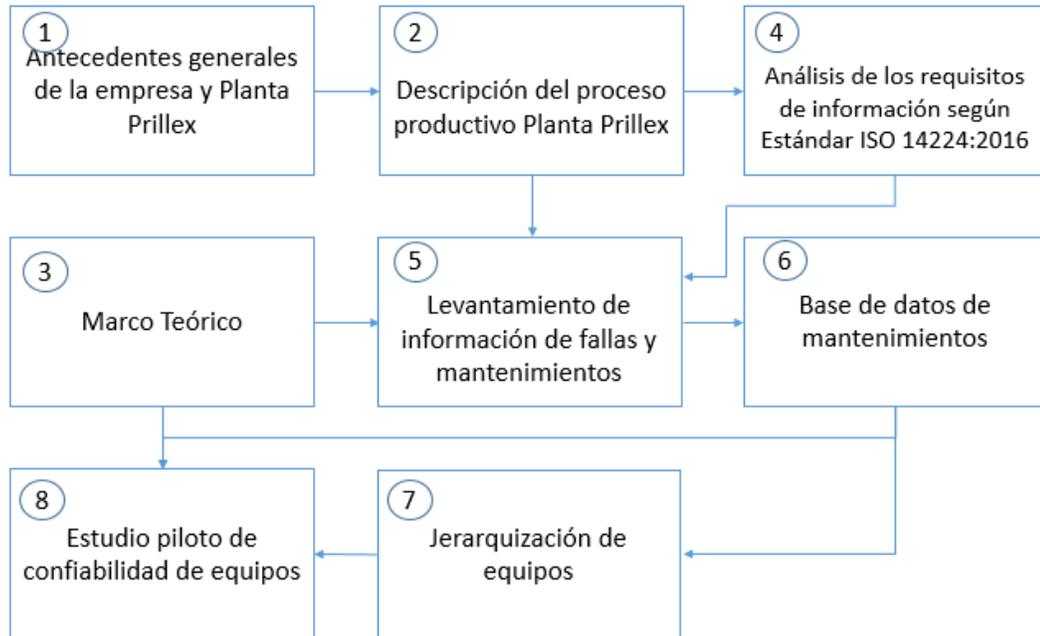


Figura 1. Plan de trabajo

1. Antecedentes Generales De La Empresa Y Planta Prillex

La Empresa Nacional de Explosivos (Enaex S.A) es una empresa filial del grupo Sigdo Koppers. Cuenta con más de 94 años de experiencia y trayectoria en el mercado de explosivos. A lo largo de su historia, la compañía ha logrado establecerse como el tercer productor de Nitrato de Amonio de baja densidad a nivel mundial y como el prestador de servicios integrales de fragmentación de roca para la industria minera. [1]

A continuación, se desarrolla una breve descripción de la empresa:

1.1 Marco estratégico de la empresa

A continuación, se presenta el marco estratégico de la empresa, por medio de las declaraciones de su visión, misión y valores corporativos [4]:

Visión

Ser la compañía más prestigiosa en la industria, entregando soluciones de alto valor a las regiones mineras más importantes del mundo.

Misión

Crecer junto a los clientes, suministrando Nitrato de Amonio, químicos asociados y servicios a la minería de alta calidad. Entregar estándares de nivel mundial en seguridad, confiabilidad y servicios innovadores. Tener presencia global, con liderazgo en Latinoamérica. Generar valor a los accionistas y trabajadores. Ser reconocidos como una empresa respetuosa con la comunidad y el medio ambiente.

Valores corporativos

Los valores corporativos de Enaex son:

- Nuestra prioridad LA VIDA
- Nuestra vocación LOS CLIENTES

- Nuestra obsesión LA EXCELENCIA
- Nuestra fortaleza LA INNOVACIÓN Y EL EMPRENDIMIENTO

1.2 Plantas productoras

Enaex entrega el servicio de fragmentación de roca y voladura a las más prestigiosas mineras de Chile. Dada la necesidad y requerimientos por parte de sus clientes, la Compañía cuenta con una extensa red de Plantas de servicio ubicadas en las más importantes faenas mineras a lo largo del país, desde donde entrega diferentes servicios para la industria minera, tales como: disparo de voladura; carguío de agentes de tronadura; amarre superficial; tapado de pozos, chequeo de perforaciones, administración de polvorines, entre otros. Así también estas Plantas de servicio poseen equipos diseñados para mezclar y transportar materias primas (Nitrato de Amonio, emulsiones y petróleo) en el lugar de uso, manteniendo altos estándares de seguridad, calidad y productividad [2].

Cuenta con Plantas productoras nacionales e internacionales, ubicadas en Brasil, Perú y EEUU. Las Plantas Productoras Nacionales corresponden a:

- **Planta Prillex América**
Localizada en Mejillones, contigua a Puerto Angamos, productora de Nitrato de amonio y emulsiones a granel. Con una capacidad de producción anual de 850 mil toneladas por año.
- **Planta Río Loa**
Ubicada en Calama. Fábrica de explosivos encartuchados (dinamitas, pentolitas, PETN), ANFO en sacos y emulsiones a granel y detonadores no eléctricos (duales y troncales).
- **Planta Punta Teatinos**
Ubicada en la Región de Coquimbo, distribuye Nitrato de Amonio, sistemas de iniciación y productos encartuchados.

1.3 Productos

Enaex produce materias primas para explosivos tales como: Nitrato de Amonio, el cual es un producto prillado; y emulsiones para la fabricación de ANFO, el cual es un explosivo de alto orden.

Sus productos se dividen en las siguientes categorías [3]:

- Materias primas para explosivos
- Agentes de voladura
- Sistemas de iniciación
- Otros productos
- Otros productos químicos (Ácido nítrico 60%, entre otros)

La producción durante el año 2016 de Nitrato de Amonio fue de 700 millones de toneladas, un 12% menos que el año anterior.

1.4 Ingresos

Enaex durante el año 2016 obtiene ingresos por US\$ 691,7 millones y una utilidad neta de 85,3 millones US\$, estos valores presentan una disminución de un 9% y 18% respectivamente en relación al año anterior, situación que se explica debido a la postergación de proyectos mineros, competencia de otras empresas proveedoras de Nitrato de Amonio en el mundo, y la baja del 39% del precio del Amoniaco, lo que ha reducido los ingresos de la compañía en comparación al año 2015 [3].

La mayor parte de sus ganancias las obtiene por la venta de gráneles (ANFO, Matriz y Nitrato de Amonio), sus productos son exportados, pero la mayor parte se comercializa dentro del país como se puede ver en la Figura 2.

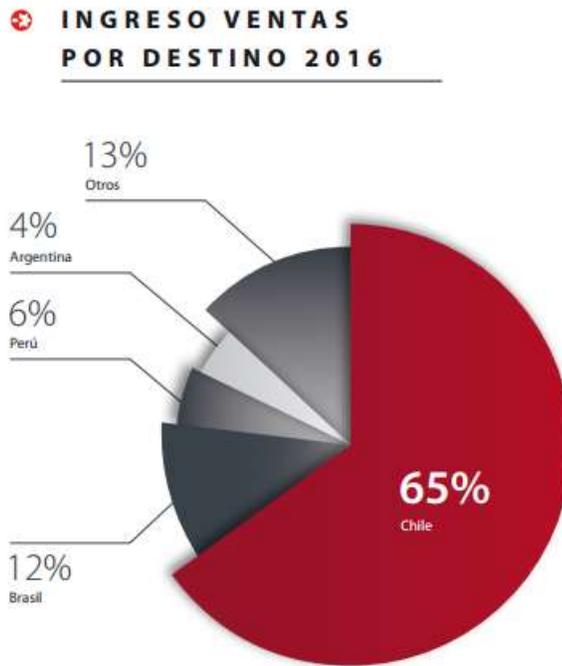


Figura 2. Importaciones y exportaciones Enaex [3]

Entre los principales clientes nacionales se encuentran BHP Billiton, Codelco, Amsa, Anglo American entre otras.

1.5 Antecedentes generales Planta Prillex América Enaex

Enaex, a través de la Planta Prillex América, cuenta hoy en día con el mayor complejo productivo de Nitrato de Amonio de grado explosivo a nivel mundial, posicionándose como el tercer actor más importante en el mundo en términos de producción [3].

Planta Prillex se encuentra ubicada en Mejillones, contigua al puerto de Angamos, a 65 km de Antofagasta. En la Figura 3 se presenta su ubicación geográfica.

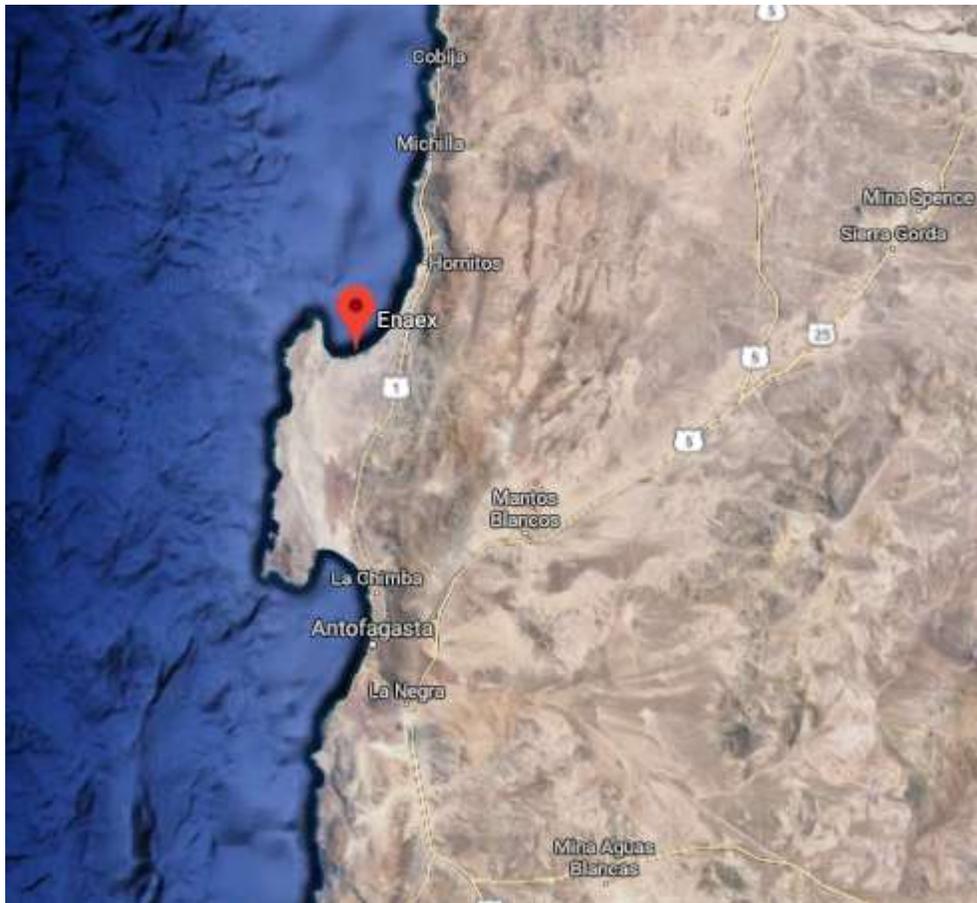


Figura 3. Ubicación geográfica Planta Prillex América [5]

Planta Prillex se encuentra dividida organizacionalmente por varias subgerencias, las que aseguran que la Planta se mantenga funcionando de manera óptima.

La Subgerencia de Mantenimiento e Ingeniería tiene un rol fundamental, ya que es la encargada de realizar todas las planificaciones de los distintos tipos de mantenimiento, de realizar proyectos mecánicos, estructurales, eléctricos e instrumentales necesarios, y de asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los distintos equipos en la Planta. Se encuentra dividida en áreas operativas, encargadas de realizar los mantenimientos, y áreas soportes las que realizan las gestiones para realizar estos mantenimientos. En la Figura 4 se muestra el organigrama de la Subgerencia de Mantenimiento e Ingeniería.

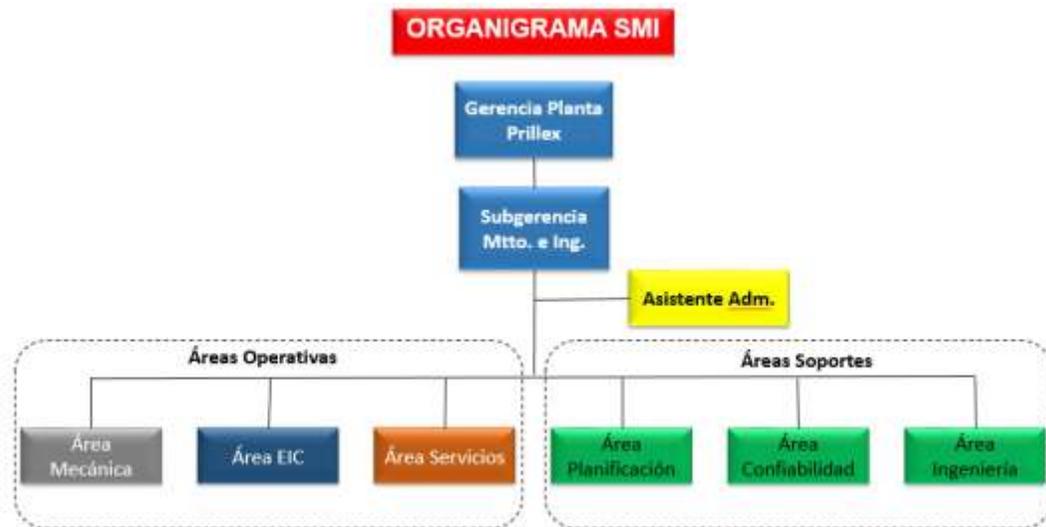


Figura 4. Organigrama Subgerencia de Mantenimiento e Ingeniería [6]

El proceso productivo se encuentra dividido por PANNAs (Plantas de Ácido Nítrico y Nitrato de Amonio) las cuales a su vez se encuentran divididas por áreas las que pertenecen a los ISBL (Inside Batery Limits), es decir intervienen en el proceso productivo y los OSBL (Outside Battery Limits), aquellas áreas que no participan en el proceso productivo. También se encuentran áreas comunes a toda la Planta y áreas pertenecientes a OSBL integrales. Fuera de las PANNAs se encuentra la Planta de Matrices donde se producen las emulsiones.

Existen tres PANNAs en la Planta, PANNA 1y 2, PANNA 3, PANNA4 las cuales se componen por las mismas clases áreas, como se muestra en la Figura 5.

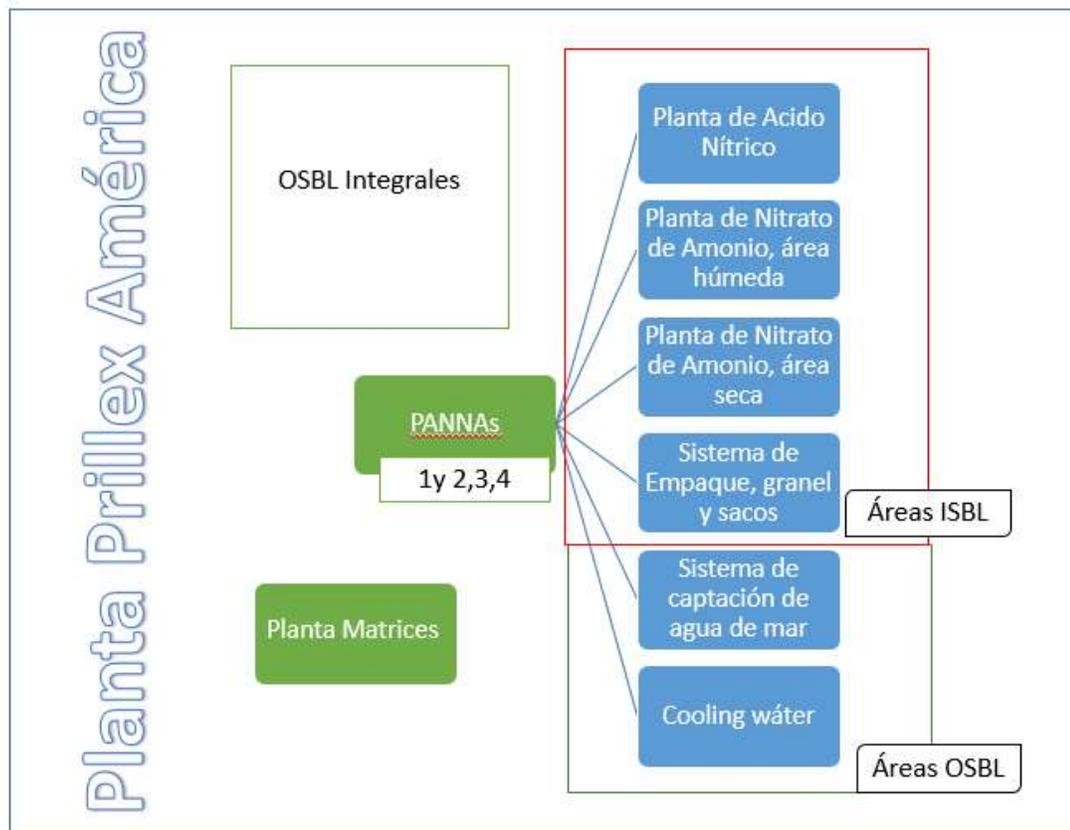


Figura 5. División esquemática de Planta Prillex América [8]

Actualmente, se encuentran activas PANNA3 y PANNA4, siendo esta última la más tecnológica y construida más recientemente. PANNA1y2 no están produciendo debido a la menor demanda que enfrenta la Planta.

La descripción completa con todas las áreas pertenecientes a cada PANNA se encuentra en el Anexo 1.

En el siguiente capítulo, se describe el proceso productivo general de Planta Prillex y los principales que intervienen en cada proceso.

2. Descripción Del Proceso Productivo Planta Prillex

El proceso productivo de las PANNAS, como se observa en la Figura 6, comienza con el carguío de Amoniaco en el Terminal Marítimo de Amoniaco donde es descargado de los buques e ingresa a los Estanques de Amoniaco (OSBL Área 51) donde es almacenado, luego en las Áreas 81 y 45 (ISBL) se mezcla el Amoniaco con aire produciéndose Ácido Nítrico (HNO_3) el cual es almacenado en tres estanques en el área 54 (OSBL).

Con el Ácido Nítrico y Amoniaco se produce Solución de Nitrato de Amonio (NH_2NO_2) en las Áreas 91 y 46, una parte de esta Solución es almacenada en estanques, Área 57, donde luego es transportada en camiones para su venta o es usada para el proceso de producción de emulsiones (Área 68). La otra parte de Solución es enviada a las Áreas 92 y 47 donde es transformada en Prill, el cual es almacenado y envasado en las Áreas 23, 93 y 48 para su final envío a los clientes.

Las capacidades de almacenamiento y producción de Planta Prillex se presentan en la Figura 7.

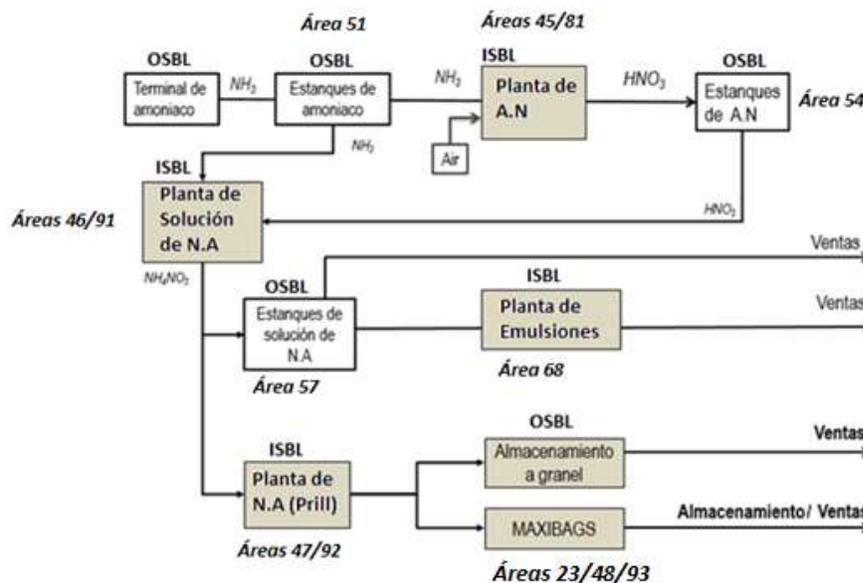


Figura 6. Proceso Productivo General Planta Prillex [8]

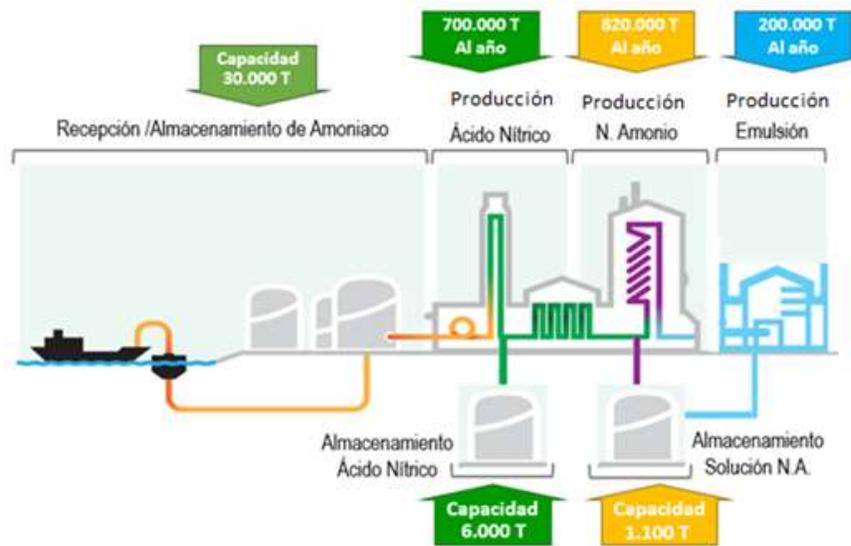


Figura 7. Capacidades nominales Planta Prillex [8]

A continuación, se describen los procesos que se desarrollan en las PANNAs y Planta Matrices de Planta Prillex.

2.1 Terminal de Amoníaco y almacenamiento de Amoníaco

El Terminal Marítimo de Amoníaco, es una plataforma de 100 m² ubicada en el mar a 500 metros de la Planta. Aquí se encuentra el acople para conectarse a los buques permitiendo una descarga de Amoníaco hacia los estanques de Amoníaco mediante una tubería rígida.

Para almacenar el Amoníaco existen tres estanques con una capacidad de almacenamiento de 30.000 metros cúbicos, los cuales pueden cubrir la producción completa de 40 días. Estos estanques poseen un sistema de refrigeración criogénica (-33°C) y se encuentran presurizados.

2.2 Producción Ácido Nítrico

En las Plantas de AN se realiza la mezcla de Amoniaco y aire como se muestra en la Figura 8, estos pasan a través de un reactor con mallas de Platino/Rodio a 900°C. La mezcla de gas fluye a través de las mallas, lo que provee una gran superficie para que se produzca la reacción, formándose Monóxido de Nitrógeno (NO).

El aire y el Monóxido de Nitrógeno pasan a través de un enfriador, reaccionando para formar Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

El Dióxido de Nitrógeno y el aire pasan por una torre de absorción donde reaccionan con agua para producir Ácido Nítrico (HNO₃). El Ácido Nítrico producido en el fondo de la torre es transportado por una tubería hacia un estanque de almacenamiento.

Los gases de cola son enviados a un Reactor Envinox el cual los reingresa al proceso, permitiendo disminuir el envío de gases contaminantes hacia la atmosfera.

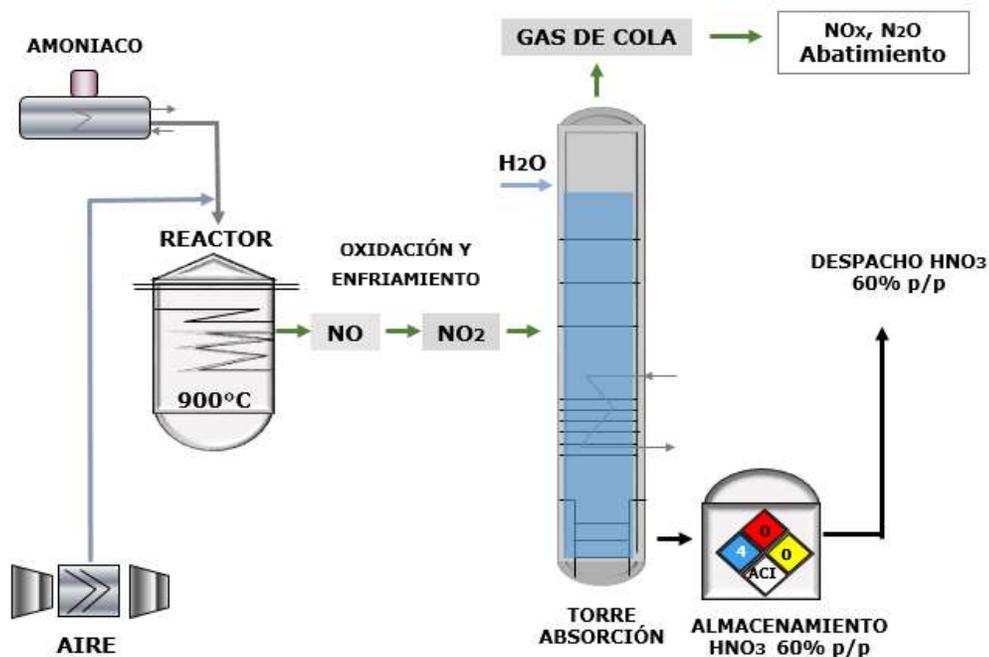


Figura 8. Producción de Ácido Nítrico [8]

2.3 Producción de solución Nitrato de Amonio

En las Plantas de Solución de Nitrato, se bombea Ácido Nítrico desde el estanque y Amoniacó a un recipiente de mezclado como se muestra en la Figura 9. Ahí el Ácido Nítrico es neutralizado con el agua para formar solución de Nitrato de Amonio (NH_4NO_3). Una parte de esta solución es almacenada en un estanque, la parte restante se envía a un evaporador donde aumenta la concentración de la solución, de un 86% a un 96%, para ser enviado a la Torre de Prill.

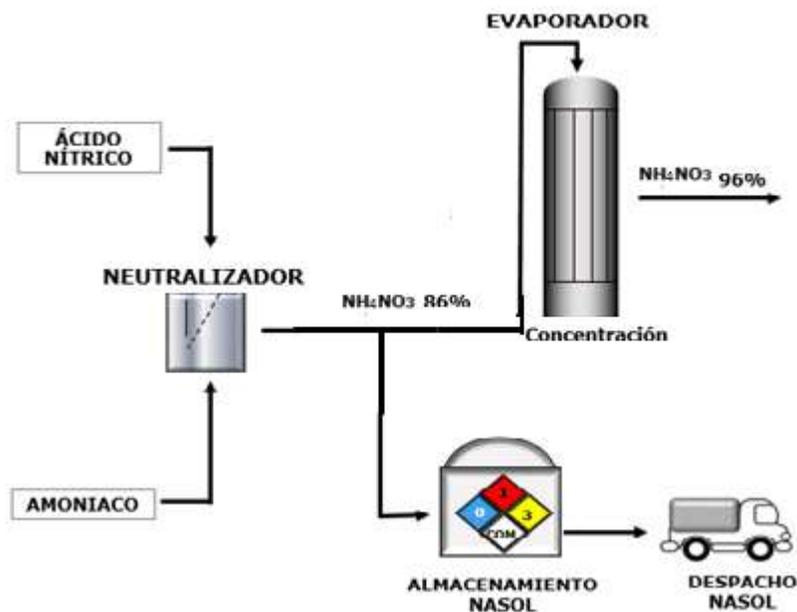


Figura 9. Producción Solución Nitrato de Amonio [8]

2.4 Producción de Prill

En las Plantas de Prillado, como se presenta en la Figura 10, la solución de Nitrato de Amonio es enviada a la Torre de Prillado, donde la solución es rociada a través de toberas para formar gotas. Desde el fondo de la torre sale aire de manera de enfriar las gotitas, este Prill mojado pasa por secadores y finalmente por un enfriador para endurecerlo.

Finalmente, el Nitrato de Amonio en forma de Prill, va a la Unidad de Ensacado, donde es envasado en sacos de 20 kg o maxibolsas de 1,500 kg. También puede ser almacenado en pilas, ubicadas en las canchas de almacenamiento para su posterior ensacado.

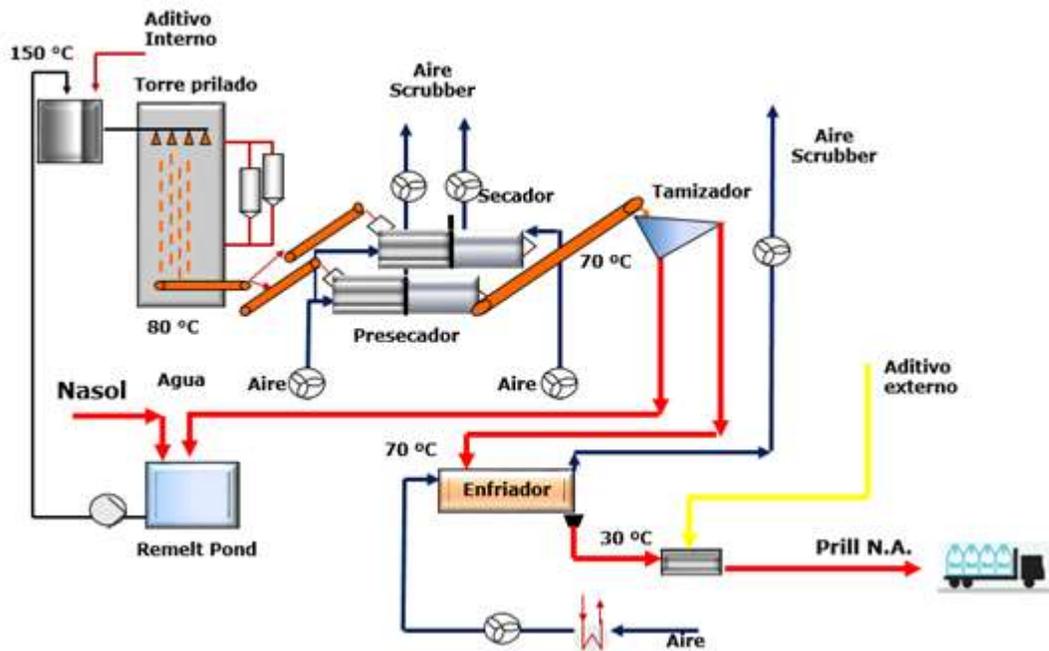


Figura 10. Producción de Prill [8]

2.5 Planta Matrices

La Planta de Matrices funciona como una Planta anexa, siendo el lugar donde se elabora otro de los productos de la Planta correspondiente a “Emulsiones”.

Las emulsiones corresponden a explosivos de carácter líquido, los cuales al ser Aquageles, no son afectados por la humedad del sitio donde se realizarán las explosiones, a diferencia del Nitrato de Amonio, el cual al ser higroscópico pierde sus propiedades en lugares muy húmedos.

Su proceso corresponde básicamente a una mezcla de solución oxidante y solución combustible.

La solución oxidante es formada en un estanque de Solox, como se muestra en la Figura 11, donde ingresa solución de nitrato de amonio bombeada desde la Planta y agua desmineralizada, la cual es bombeada desde la Planta de Tratamiento de Agua.

La solución combustible está conformada por un emulsificante, la que es comprada y almacenada en un estanque, y petróleo proveniente desde los estanques de la Planta (área 58, OSBL). Emulsificante y petróleo son enviados a estanques de preparación, donde son mezcladas mediante un agitador estático.

La solución oxidante y solución combustible son enviadas a un reactor que conforman el módulo de elaboración de la emulsión. Previo al almacenamiento la emulsión pasa por un intercambiador de calor para ajustar la temperatura a 36°C, temperatura necesaria para el almacenamiento en silos con capacidad de 60 toneladas métricas. En estas condiciones está lista para ser enviada a granel en camiones de los respectivos clientes.

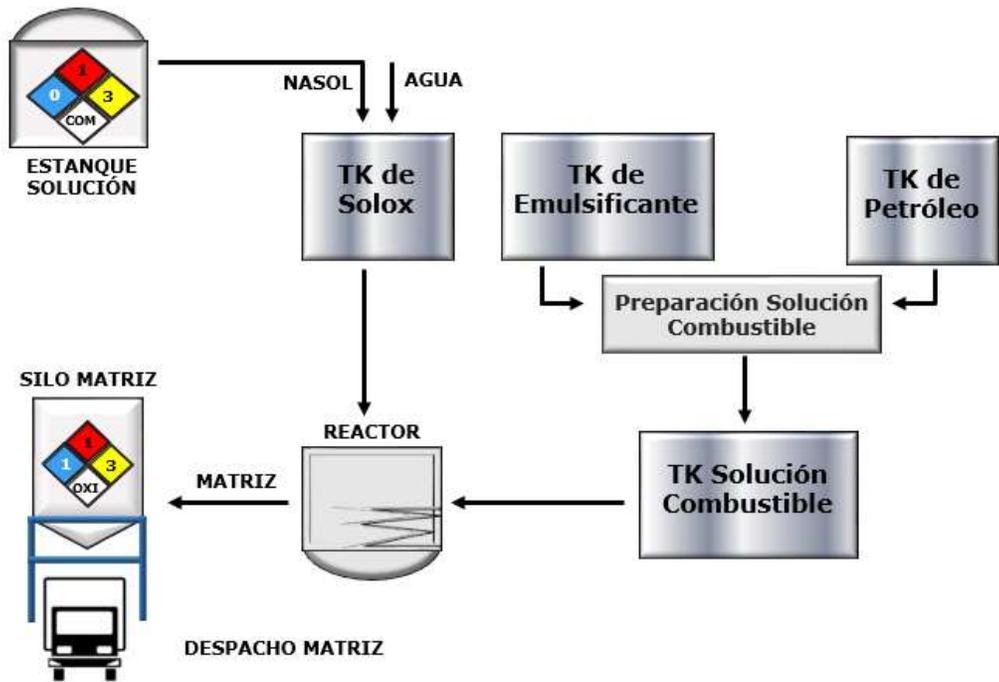


Figura 11. Proceso Productivo Planta Matrices [8]

3. Marco Teórico

En este capítulo se introduce el Estándar ISO 14224, el cual propone un método para sistematizar la información según requerimientos claves de información, de manera de obtener una base de datos, con toda la información relevante de los distintos equipos, sus fallas y mantenimientos; proponiendo prácticas de control y aseguramiento de la calidad de los datos. Además, se entregan los conceptos necesarios de análisis de confiabilidad para el Plan Piloto de Confiabilidad.

3.1 Estándar ISO 14224-16

El estándar ISO14424-2016 “Industrias de petróleo, petroquímicas y gas natural-recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos” [7], proporciona una guía completa para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento, permitiendo gestionar los datos recolectados para realizar análisis de fallas, disponibilidad y confiabilidad.

El propósito de este estándar es crear un formato único, de manera que los datos puedan ser comparables tanto al interior de la misma empresa donde se implanta, como con otras empresas petroquímicas y derivadas que utilicen este estándar.

Este estándar contiene información de cómo obtener datos de calidad, métodos de recolección, las subdivisiones de las clases de equipos en que aplica, y describe todos aquellos datos de falla y mantenimientos que son necesarios para su posterior análisis.

El modelo propuesto por la norma está compuesto por la identificación del equipo, donde se describen las principales características del equipo. La identificación de la falla donde se busca encontrar la causa raíz de la falla y caracterizar la falla. Y finalmente la identificación del mantenimiento realizado donde se describe básicamente el mantenimiento realizado.

Para predecir cuándo ocurrirá una falla se pueden realizar estudios de confiabilidad, utilizando sus datos históricos. A continuación, se presentan las principales

definiciones teóricas para la realización del estudio de confiabilidad al final de este trabajo.

3.2 Confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la probabilidad de que un elemento funcione, sin fallar, durante un tiempo predeterminado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas [10].

En términos generales la confiabilidad o $R(t)$ está dada por

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_0^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (1)$$

Donde:

$f(t)$ corresponde a la función de densidad probabilística de falla

$F(t)$ corresponde a la probabilidad acumulada de falla

La **función de densidad probabilística de falla** representa la probabilidad de que un elemento falle en un instante de tiempo “t” cualquiera.

La **probabilidad acumulada de falla** cuantifica la probabilidad que el equipo o sistema falle en el intervalo de tiempo $[0,t]$.

El área bajo la curva de la Figura 12 representa gráficamente la confiabilidad o $R(t)$

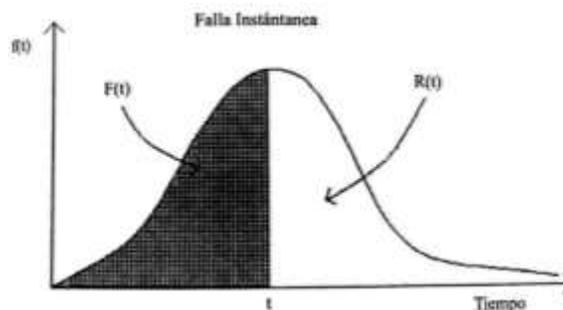


Figura 12. Representación gráfica de Confiabilidad $R(t)$. [10]

La confiabilidad en términos generales también puede escribirse matemáticamente como:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2)$$

Donde

λ : Tasa de falla

La **tasa de falla** se define como la probabilidad de tener una falla del sistema o del elemento en los instantes t y $(t+dt)$ a condición de que el sistema haya sobrevivido hasta el tiempo t .

Otros conceptos importantes son los relacionados con seguridad operacional:

MTTF (Mean time to failure) y MTBF (mean time between failure)

En tiempo medio entre fallas (MTBF) para equipos reparables o tiempo medio hasta la falla para equipos no reparables (MTTF) puede ser definido como:

$$MTBF \text{ (o MTTF)} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3)$$

El MTBF también puede ser estimado de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{\Sigma(\text{down time} - \text{uptime})}{\text{Numero de fallas}} \quad (4)$$

Donde

Down time: corresponde al periodo en que el equipo no opera, debido a una falla.

Uptime: corresponde al periodo en el cual equipo opera sin problemas.

La confiabilidad de un elemento puede ser caracterizada a través de distintos modelos de probabilidad, algunos de estos son presentados a continuación:

3.3 Modelos de distribución de probabilidad

Las distribuciones de probabilidad permiten modelar matemáticamente y caracterizar los periodos de vida de un elemento, equipo o sistema. Existen distintos tipos de distribuciones, tales como: Weibull, Lognormal, Exponencial, Normal, etc. A continuación, se describen algunos modelos de distribución:

3.3.1 Distribución Weibull

La distribución de Weibull es una de las distribuciones más comúnmente utilizadas.

La función de confiabilidad de la distribución de Weibull de dos parámetros, puede ser escrita de la siguiente forma:

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (5)$$

- Etha- parámetro de escala o característica de vida útil (η)
- Beta-parámetro de forma (β)

Donde t es el tiempo de vida y t_0 es un tiempo de referencia o parámetro inicial de localización.

3.3.2 Distribución Exponencial

La distribución exponencial es un caso especial de la distribución Gamma. Su importancia radica la única que posee una intensidad constante de fallas. Esta distribución es muy usada para modelar el comportamiento de vida de componentes electrónicos.

La función de confiabilidad de la distribución exponencial corresponde a:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

3.3.3 Distribución Lognormal

La distribución log-normal se utiliza para representar la vida de ciertos componentes electrónicos [11].

La distribución normal, una de las distribuciones estadísticas más importantes, no resulta de mucho interés para la modelación de tiempos de fallo, debido a que esta distribución admite valores negativos, y los tiempos de fallos son siempre positivos. Es por eso que se utiliza la distribución log-normal, derivada de la normal que solo considera valores positivos.

La distribución log-normal es aquella en que el logaritmo de la variable está distribuida normalmente. Su función de confiabilidad es la siguiente:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{t \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} dt \quad (7)$$

Donde:

μ : logaritmo natural de la media

σ : desviación estándar de la variable aleatoria de la distribución.

La desventaja de esta distribución es que es bastante difícil de tratar algebraicamente, pero surge naturalmente como la convolución de distribuciones exponenciales.

3.3.4 Distribución Gamma Generalizada

La distribución gamma es utilizada en una gran diversidad de áreas permitiendo una metodología en el marco de análisis de la biología e ingeniería. Debido a su capacidad para asumir una amplia variedad de formas, es utilizada para modelar procesos, en teorías de confiabilidad, mantenimiento y fenómenos de espera.

La distribución Gamma da origen a otras distribuciones, siendo las más representativas la exponencial y chií-cuadrado.

Su función de confiabilidad es la siguiente:

$$R(t) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_t^\infty t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt \quad (8)$$

Donde

α : Parámetro de forma

λ : Parámetro de escala

La distribución Gamma puede tomar distintas formas dependiendo de su parámetro α . Para $\alpha \leq 1$, toma la curva se vuelve asintótica y $f(t)$ tiende a infinito, a medida que aumenta t .

A continuación, se presenta la curva de la Bañera de Davies, la cual corresponde a una aplicación del estudio de confiabilidad:

3.4 Curva de la Bañera o de Davies

La curva de la Bañera muestra la tasa de falla o $\lambda(t)$, como una función de la fase en que se encuentre el equipo o componente. En la Figura 13 pueden observarse las fases de esta curva:

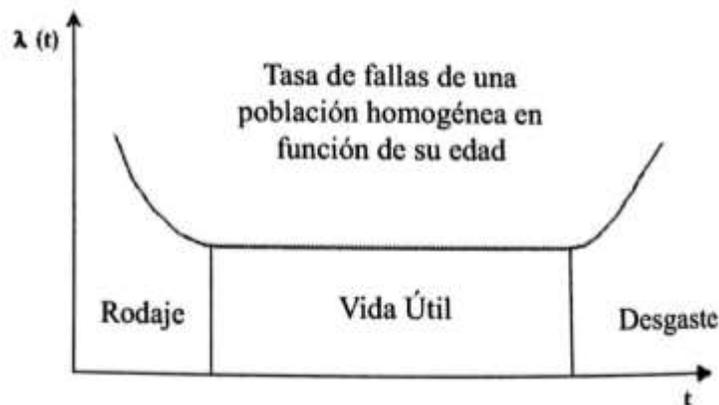


Figura 13. Curva de la bañera o Davies [10]

El autor Alberto Mora [9] declara las acciones que deben ser tomadas en cada etapa:

Fase I: Rodaje

El comportamiento de la tasa de fallas en la fase I es decreciente, pues en la medida de que pase el tiempo, la probabilidad de que ocurra una falla disminuye. Las operaciones que se sugieren en esta fase son de tipo correctivo y modificativo, especialmente correctivas ya que las fallas que aparecen habitualmente son diferentes. La eliminación de estas fallas se logra mediante la utilización de un análisis de modos de fallas FMEA (Failure Mode Analysis and Effects).

Fase II: Vida Util

La probabilidad de falla en la fase II es constante, indiferente del tiempo que transcurra, es decir, si se tienen dos elementos similares y a uno de ellos se le acaba de hacer una reparación y al otro se le hizo hace años tienen la misma probabilidad de sufrir una falla. Estas fallas son de origen técnico, ya sea procedimientos humanos o de equipos. En esta etapa las acciones que más se adaptan son las de carácter modificativo, ya que las fallas al generarse por utilización fuera de estándar (de equipos o personas), se requiere modificar esos equipos y/o procesos mediante nuevos estándares.

Fase III: Desgaste

Las fallas en esta fase se fundamentan en el desgaste de los elementos, envejecimiento o pérdida de funcionalidad. Son causadas por el excesivo uso, desuso o abuso. En esta etapa se aconseja la sustitución y reposición de los dispositivos y maquinas, cuando su mantenimiento es más costoso que reemplazarlo.

El Software a utilizar, utiliza distintos métodos y pruebas para determinar cuál es la distribución que más se asemeja a los datos de falla ingresados y sus parámetros. A continuación, se describe dichos métodos y pruebas:

3.5 Método de máxima verosimilitud (MLE)

EL MLE corresponde a un método para estimar parámetros de una distribución. Es un método de naturaleza asintótica, es decir que al aumentar el tamaño de la muestra el valor estimado se vuelve más preciso. El objetivo del método consiste en obtener el valor más probable de los parámetros de una distribución dada, mediante la función de máxima verosimilitud (L) la cual se presenta a continuación:

$$L = \prod_{j=1}^n f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (9)$$

Donde:

$f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$: Es la función de densidad de la distribución cuyos parámetros se están buscando

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$: Parámetros por estimar

3.6 Pruebas de ajuste de bondad

La prueba de ajuste de bondad de un modelo estadístico describe que tan bien se ajusta una determinada distribución a los datos, entregando la discrepancia entre los valores observados y los valores esperados de la distribución escogida [11]. Entre las pruebas de bondad se encuentran las siguientes:

- Prueba de Kolmorov smirnoff :La Prueba de Kolmorov-Smirnof es una prueba no paramétrica que determina la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.
- Prueba de correlación de coeficientes: Esta prueba mide que tan bien son graficados los puntos en una línea recta.
- Prueba de razón de verosimilitud: Esta prueba calcula el valor de la función log-verosimilitud dados los parámetros de la distribución.

4. Análisis De Requisitos De Información Según Estándar ISO 14224:2016

En este capítulo se presentan todos aquellos requisitos de información necesarios, de acuerdo al estándar ISO 14224-16 para empresas que desean llevar sus registros de fallas y mantenimientos de sus equipos de forma sistematizada y clara.

4.1 Identificación del equipo

La clasificación de los equipos por los parámetros técnicos, operacionales y medioambientales es la base para la recolección de datos RM. Esta información es también necesaria para determinar si los datos son adecuados o válidos para diferentes aplicaciones.

A continuación, se describirá cada una de las subdivisiones de la identificación de los equipos:

Código o nombre: identificación del equipo.

Área: Sector de la Planta denominada área, a la cual pertenece el equipo.

Clase de equipo: clases de equipos que contienen unidades similares. Ejemplo todas las bombas.

Nombre del fabricante.

Tipo de equipo: característica particular del diseño que es considerablemente diferente de otros diseños dentro de la misma clase de equipo.

Modo /Estado operativo normal: estado operativo normal, tal como en funcionamiento, espera activo intermitente.

Fecha de inicio del servicio actual: fecha desde que fue instalado.

4.2 Datos de falla

Una definición uniforme de falla y un método de clasificación de fallas son esenciales cuando se necesitan combinar los datos de diferentes fuentes (Plantas y operadores) en una base de datos de RM.

A continuación, se presenta cada uno de los registros necesarios para la descripción de la falla:

Registro de falla: identificación de registro de falla único, descriptor de la falla sucedida.

Fecha de falla: fecha de detección de falla (año/mes/día).

Componente/ítem mantenible: Nombre del componente/ítem en falla.

Condición operativa al momento de la falla: corresponde al estado operativo se encontraba el equipo al momento de la falla.

Modos de Falla: corresponde a la forma en que la falla ocurre (ejemplo: fuga). Los modos de falla pueden categorizarse en tres tipos:

- a) Función deseada no obtenida.
- b) Pérdida de una función específica, o función fuera de los límites operacionales aceptadas.
- c) Indicación de falla observada, pero sin impacto inmediato y crítico en la función del equipo (este tipo de falla típicamente no es crítica y está relacionada a alguna degradación o condición de falla incipiente).

El estándar propone modos de falla recomendados para cada categoría principal de equipos. Estas categorías corresponden a las siguientes:

- Rotatorios (motores de combustión, compresores, generadores eléctricos, turbinas de gas, etc.);
- Mecánicos (grúas, intercambiadores de calor, calefactores y calderas, tanques de presión, tanques de almacenamiento, tuberías, etc.);

— Eléctricos (suministro de potencia interrumpible, transformadores de potencia, convertidores de frecuencia, etc.);

— Seguridad y control (detectores de incendio y gas, dispositivos de entrada, unidades de lógica de control, válvulas, boquillas, etc.);

La descripción de todos los modos de falla aplicados a equipos mecánicos en este estudio se encuentra en el Anexo 2.

Impacto de la falla en el funcionamiento del equipo: la falla en el funcionamiento del equipo puede pertenecer a tres categorías:

- *Falla incipiente* imperfección en el estado o condición de un ítem de manera que puede o no terminar en una falla degradada o crítica si no son tomadas acciones correctivas
- *Falla degradada:* falla que no cesa las funciones fundamentales del equipo, pero compromete una u otras funciones.
Una reparación inmediata puede retrasarse, pero estas fallas suelen terminar en una falla crítica si no se toman acciones correctivas
- *Falla crítica:* Falla de una unidad de un equipo que causa la inmediata cesación para realizar una determinada función

Adicionalmente el estándar también declara información adicional que debe ser recolectada en torno a las fallas, correspondiente a lo siguiente:

Mecanismo de falla: Proceso físico, químico u otro, o la combinación de procesos, que dé lugar a la falla. Es un atributo del evento de falla que puede deducirse técnicamente.

Las clases de mecanismo de falla están relacionadas a las siguientes categorías generales de tipos de fallas:

- a) fallas mecánicas
- b) fallas de material
- c) fallas de instrumentación

- d) fallas eléctricas
- e) influencia externa
- f) varios

Causa de Falla: el objetivo de estos datos consiste en identificar el evento desencadenante (“causa raíz”) en la secuencia que da lugar a la falla de un equipo. Se identifican cinco categorías de causa de falla, junto con las subdivisiones respectivas que deben ser utilizados en las bases de datos. Las causas de falla se clasifican en las siguientes categorías:

- 1) Causas relacionadas al diseño
- 2) Causas relacionadas a la fabricación/instalación
- 3) Causas relacionadas a la operación/mantenimiento
- 4) Fallas relacionadas a la gestión
- 5) Otros

Las causas de falla generalmente no se conocen en profundidad al momento de observar la falla, por lo que, para revelar la causa raíz de una falla, puede ser útil aplicar un análisis específico de causa raíz. Esto es especialmente relevante para las fallas que son más complejas, y donde es importante evitar la falla debido a sus consecuencias. Algunos ejemplos son las fallas que tienen consecuencias de seguridad y/o ambientales severas, tasas de falla anormalmente elevadas en comparación con el promedio y fallas con un alto costo de reparación.

Se debe tener el cuidado apropiado para no confundir el mecanismo de falla (que describe la causa aparente observada de una falla) con la causa de falla (que describe la causa subyacente o “raíz” de la falla).

Método de detección: método o actividad mediante el cual una falla se descubre. Esta información es de importancia crítica al momento de evaluar el efecto del mantenimiento, p.ej. para distinguir entre las fallas descubiertas a través de una acción

planificada (inspección, mantenimiento PM), y aquellas detectadas por casualidad (observación casual).

Consecuencias de la falla: la clasificación de consecuencias de fallas es una parte esencial para evaluar los riesgos asociados a fallas que ya han ocurrido. Es por esto que se recolectan datos de consecuencias de fallas donde éstas tengan un impacto en la seguridad, producción, medioambiente o alto costos de reparación/reemplazo. La norma declara que es necesario definir los límites aceptables, es decir el nivel de la consecuencia, es medido de acuerdo a los estándares de la empresa si se trata de consecuencias operacionales, o de producción. Es por esto que cada consecuencia se divide en cuatro categorías, cuyos límites son definidos por la empresa: Catastróficas, Severas, Moderadas y Menores

- **Impacto operacional:** las consecuencias operacionales están relacionadas con los costos de mantenimiento.
- **Impacto en la producción:** está relacionado con la interrupción de la producción debido a una falla.
- **Impacto de la falla en la seguridad de la Planta:** categorización cualitativa y cuantitativa de consecuencia de falla.

Con cada falla que presenta un equipo se realiza un mantenimiento de clase correctiva para solucionar el problema. Así también se realizan mantenimientos de índole preventiva y predictiva para evitar que el equipo falle. El estándar también determina todos aquellos datos necesarios para llevar una buena gestión de los mantenimientos realizados a los equipos. A continuación, se describen los datos de mantenimiento necesarios:

4.3 Datos de mantenimiento

Mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas y de gestión que tienen la intención de retener un ítem, restaurarlo a un estado en que pueda realizar lo requerido. Los datos necesarios para el registro de los mantenimientos son los siguientes:

Registro de mantenimiento: identificación del mantenimiento único. El cual puede ser un código numérico.

Identificación/ ubicación del equipo: identificación única del equipo, puede ser un código alfanumérico.

Registro de falla: corresponde al registro de identificación de falla.

Fecha del mantenimiento: fecha cuando fue realizada la acción de mantenimiento o planificada.

Categoría de mantenimiento: corresponde al tipo de mantenimiento realizado correctivo, preventivo o predictivo.

- **Mantenimiento Correctivo:** Mantenimiento para corregir una falla.
- **Mantenimiento Preventivo:** Como una acción periódica normal y planificada para prevenir que ocurran fallas. Pueden ser simplemente chequeos (inspecciones, pruebas) para verificar la condición y el rendimiento del equipo con el fin de decidir si se requiere un mantenimiento correctivo.
- **Mantenimiento Predictivo:** Mantenimiento basado en la predicción de una condición futura de un ítem valorado desde una serie de datos históricos y parámetros operacionales futuros conocidos.

Tiempo de mantenimiento activo: duración de tiempo para los trabajos de mantenimientos realizados en el equipo.

Down time: tiempo durante el cual un ítem está en estado inoperativo.

Finalmente, el estándar siempre sugiere recolectar cualquier información adicional que pueda ser de utilidad.

5. Levantamiento De Información De Fallas Y Mantenimientos

En este capítulo se realiza un levantamiento de las fuentes de información presentes en Planta Prillex de manera de poder sintetizar toda la información en un solo formato (base de datos) con todos los datos recomendados por la ISO 14224-16.

5.1 Fuentes de información presentes en la Planta

La Planta cuenta con tres sistemas de información, teniendo cada uno distintas funciones tales como registros de equipos, mantenimientos, fallas, insumos, compras entre otros. A continuación, se describe la información disponible en cada uno de estos sistemas:

- SAP: permite acceder a los registros de equipos, mantenimientos, insumos, compras entre otros.
- SIRI: registra todas aquellas fallas importantes o repetitivas.
- Tronador: registros de fallas que detuvieron la producción.

5.1.1 SAP

Sus siglas en español corresponden a sistemas, aplicaciones y productos. SAP corresponde un sistema informático que permite administrar recursos humanos, productivos, logísticos, entre otros. Está compuesto por distintas transacciones, siendo las utilizadas para el levantamiento de información las siguientes:

Ubicaciones técnicas (IL03)

En esta transacción es posible obtener el catastro de equipos, el que correspondía a un listado de equipos, sub equipos y componentes. En la Tabla 1 se presenta información del equipo, el equipo principal asociado y sus componentes (formato Excel extraído de IL03).

Tabla 1. Ejemplo equipos principales y asociados, extraídos de transacción IL03

TAG E1	Descripción TAG E1	TAG E2	Descripción TAG E2	TAG E3	Descripción TAG E3	TAG E4
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A					
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	LIT-6857A	Transmisor Indicador Nivel R-6857A			
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	N-6857	Agitador Reactor Emulsiones			
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	N-6857	Agitador Reactor Emulsiones	N-6857_M01	Motor Agitador Reactor Emulsiones	
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	N-6857	Agitador Reactor Emulsiones	N-6857_M01	Motor Agitador Reactor Emulsiones	BU-6857
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	P-6857A	Bomba Mono Emulsiones			
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	FIT-6857A	Transmisor Indicador Flujo P-6857A	
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	P-6857A_M01	Motor Bomba Mono Emulsiones	
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	P-6857A_M01	Motor Bomba Mono Emulsiones	BU-6857A
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	PIT-6857A	Transmisor Presión P-6857A	
R-6857	Reactor Unidad Emulsiones Línea A	P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	TIT-6857A	Transmisor Temperatura P-6857A	

Avisos de trabajo (IW28)

Los avisos son documentos técnicos que, en términos generales, tienen por finalidad comunicar la anomalía o solicitar el mantenimiento por parte de un cliente de un equipo.

Órdenes de trabajos (IW38)

Las órdenes de trabajo (OT) son emitidas en respuesta a un aviso de manera de solucionar o llevar a cabo lo pedido por el aviso. En las órdenes se dictan y describen las tareas que deben ser realizadas por el personal de mantenimiento y los recursos necesarios para la tarea.

Las OT se dividen en las siguientes clases presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Clases de Órdenes de Trabajo

ZM00	Orden administrativa
ZM01	Orden de emergencia
ZM02	Orden correctiva
ZM03	Orden mto. preventivo
ZM04	Orden mto. Predictivo
ZM05	Orden de inspección
ZM06	Orden de renovación
ZM07	Orden de inversión
ZM08	Modificación de ingeniería
ZM09	Orden sintomática

Transacción IW47

Esta transacción permite ver todas las notificaciones que se realizan para una orden de trabajo, indicando el nombre de la persona que realiza el mantenimiento y la duración de dicho mantenimiento.

5.1.2 Sistemas de Investigación y Reportabilidad de incidentes (SIRI)

La plataforma informática SIRI es un sistema de investigación y reportabilidad de incidentes que tiene como objetivo mantener un registro ordenado y controlado de los incidentes a personas, materiales y ambientales.

Esta herramienta permite controlar los seguimientos de los incidentes graves y potenciales, logrando el cierre definitivo a través de las responsabilidades de las jefaturas.

El Informe Flash es un documento simple que permite conocer breve y rápidamente lo sucedido respecto de la ocurrencia de Incidentes/Accidentes, con lo que se puede adoptar las medidas de control y proporcionar el apoyo necesario.

Una vez emitidos los informes Flash se realizan Informes Técnicos de Falla (ITF) donde distintas disciplinas de la empresa investigan el incidente, buscando la causa raíz de manera de corregir y evitar su repetición. La emisión de un Informe Flash y su posterior análisis por las distintas áreas de la Subgerencia de Mantenimiento e Ingeniería, se pueden observar en la Figura 14.

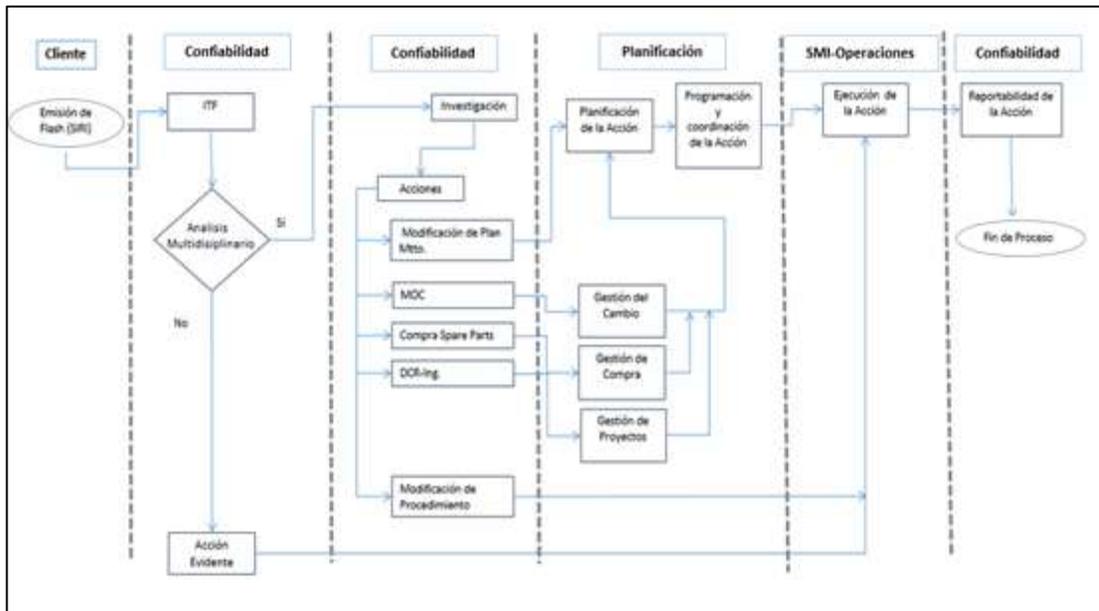


Figura 14. Diagrama de flujo Sistema de Investigación y Reportabilidad [8]

El cliente que corresponde por lo general a Operaciones, emiten los Informes Flash en los cuales se reportan incidentes, cuando el incidente es importante, dícese de detención de una o más áreas, equipos reincidentes o calidad del producto, el Área de Confiabilidad genera un ITF, el cual en caso de tener una acción correctiva evidente se entrega a la Subgerencia de Mantenimiento; en caso contrario se produce un análisis multidisciplinario donde la investigación es llevada a cabo por las distintas disciplinas (eléctrica mecánica control), donde se pueden generar acciones, modificaciones del plan de mantenimiento, entre otros. Luego se planifica la acción, se ejecuta, y reportada nuevamente al Área de Confiabilidad para verificar resultados.

5.1.3 Tronador (Sistema de Producción Web)

Este Sistema de información muestra todas las variables que involucran el Proceso Productivo de la Planta Prillex, tales como consumo de materias primas, producción, emisiones, detenciones y horas de operación de las distintas áreas de la Planta.

Este sistema fue utilizado para recolectar la información de todas aquellas detenciones que involucraron detenciones de producción asociadas a equipos.

5.2 Calidad de la información de cada uno los sistemas de información

A continuación, se evalúa la calidad de la información que presenta cada uno de los sistemas de información mencionados anteriormente.

5.2.1 Análisis de calidad de datos en sistema SAP

Ubicaciones Técnicas (Transacción IL03)

Mediante esta transacción se realiza un catastro de los equipos presentes en la planta en comparación con aquellos presentes en los planes de mantenimiento.

Los equipos se encuentran designados mediante TAG los cuales son códigos alfanuméricos, que le brindan identificación única a cada equipo.

En el caso de PANNA 1y2 utiliza TAG numéricos, los cuales van ordenados de acuerdo a una norma interna de la Planta. PANNA3 y PANNA 4 utilizan TAG alfanuméricos las letras designan el tipo de equipo, luego es seguido por un guion, y cuatro números, los dos primeros indican el área a la cual pertenece el equipo y los siguientes el sector del área donde se encuentran.

En esta transacción se encuentran cargados 7652 equipos, componentes y subcomponentes de todas las áreas de planta.

La evaluación de la información disponible en esta transacción en comparación con los requerimientos del estándar se resume en la Tabla 3.

Tabla 3. Requerimientos presentes en transacción IWL03

Requerimiento	Presenta registro
Código Planta	SÍ
Clase de equipo	SÍ
Tipo de equipo	NO
Marca	NO
Estado de operación normal	NO
Fecha de partida servicio	NO
Tiempo de operación [horas]	NO

El no registrar el tipo de equipo no permite realizar sub agrupaciones de equipos dificultando realizar mantenimientos a gran escala o generar contratos de mantenimiento especializados (por ejemplo, todas las bombas centrifugas, o bombas de varias etapas).

En el caso de las marcas, no permite tener un historial de la calidad de fabricación de dichos equipos, y realizar una comparación entre una marca y otra a través del tiempo. Muchas veces en la planta se cambia de proveedor de equipo perdiéndose la información del equipo reemplazado.

Tampoco es mencionado el estado de operación impidiendo saber cuáles equipos se encuentran en constante funcionamiento, en stand by, intermitentes o fuera de servicio.

No es mencionada desde cuándo el equipo se encuentra en servicio, siendo necesario ir a terreno a observarlo en las placas de los equipos. Información que la mayoría de las veces no se encuentra debido a que las placas se encuentran corroídas por el ambiente.

El tiempo de operación podría ser fácilmente calculado al tener la fecha de servicio

A continuación, a modo de evaluación se compararán los equipos extraídos de esta transacción con los equipos pertenecientes a los Planes de mantenimiento actuales de la Planta.

Comparación entre los registros de equipos en SAP y Planes de Mantenimiento

El Plan de Mantenimiento actual se encuentra constantemente en proceso de mejora incluyendo equipos que no se encuentran actualmente incorporados dividiéndose en mantenimientos mecánicos, eléctricos e instrumentación. Estos planes de mantenimiento se encuentran cargados en SAP en la transacción IP15. Con estos planes se realiza una comparación con el listado de equipos extraídos de la transacción IL03, encontrando que el Plan de Mantenimiento solo cubre 57,12% de los equipos. Es decir que un 42,8% de los equipos se encuentra sin pertenecer a ninguno de los Planes de Mantenimiento operando hasta fallar.

Para evidenciar la situación de los equipos presentes en la Planta en comparación con los registrados en esta transacción, se realiza un levantamiento de los equipos del Área 68, donde gran parte de sus equipos no se encuentran ingresados en SAP, lo cual impide que tengan planes de mantenimiento asociados.

Caso de estudio Área 68

Al levantar información de los equipos en terreno en el Área 68, estos se dividen en niveles de la siguiente forma:

- Nivel 1: Equipo principal
- Nivel 2: Equipos asociados
- Nivel 3: Sub equipos asociados.

Al comparar el listado de equipos levantados en terreno con el listado de equipos pertenecientes al Área 68 desde la transacción IWL03, se encontró que un 78% de los equipos no se encuentra en SAP. En la Tabla 4 se puede apreciar el detalle por niveles.

Tabla 4. Resumen levantamiento de información Área 68

Nivel	N° de equipos ingresados a SAP	N° de equipos por agregar a SAP
1	54	29
2	121	150
3	2	48
Total	177	227

De los equipos presentes en SAP se evidencian casos en donde, a pesar de que el equipo se encuentra ingresado, posee deficiencias en su registro, tales como:

- Equipos que tienen asignado un nivel erróneo.
- Equipos que su descripción o TAG ubicado en terreno no corresponde al encontrado en SAP.
- Equipos que en SAP se encuentran ubicados en otra área

Avisos, órdenes y notificaciones de trabajo (Transacciones IW28, IW38 e IW47)

Estas tres transacciones se encuentran conectadas entre sí, ya que cuando se genera un aviso (IW28) se genera una orden de trabajo para realizar el mantenimiento (IW38), estos trabajos se notifican, indicando el trabajo realizado y su duración (IW47).

La comparación de los requisitos de información del estándar ISO 14224, sobre fallas y mantenimientos, con respecto a la información suministrada por estas transacciones se evidencia en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de información Transacción IW28, IW38 e IW47 con los requisitos del estándar ISO 14224

Requerimiento	Presenta registro
Registro de único de falla	Sí (N° de Aviso IW28)
Fecha de falla	Sí
Modo de falla	No
Impacto de la falla sobre el equipo	No
Condición de operación al momento de la falla	No
Registro de mantenimiento	Sí (N° de orden de trabajo IW38)
Fecha de mantenimiento	Sí
Duración del mantenimiento	Sí (IW47)
Down time	No

El modo de falla no se encuentra registrado, ni tampoco posee campo para ser registrado. Impidiendo agrupar modos de fallas recurrentes en los equipos.

El impacto de la falla no está especificado en el registro, pudiendo en algunos casos ser inferido de acuerdo a la descripción del registro de falla.

La ausencia de registro de la condición de operación al momento de la falla, dificulta saber si el error sucedió durante la partida del equipo, o es una falla aleatoria durante su funcionamiento.

La duración del mantenimiento, a pesar de encontrarse en la transacción IW47, en la mayoría de los casos corresponde a información errónea e imposible de procesar, debido a que como se puede observar en la Figura 15, para una misma orden existen varias notificaciones de trabajo, y al no completar el campo hora de inicio y fin del trabajo, no es posible saber si el trabajo fue realizado en paralelo por varias personas o si en definitiva corresponde a varios trabajos durante el día. Por ejemplo, la orden numero 200096959 (primera orden) presenta varios de registros de igual duración iniciados a la misma hora. Se puede suponer que el trabajo fue realizado en paralelo por tres personas, sin embargo, no existe certeza de esta aseveración.

Ubicac.técnica	Ord	Orden	Creado el	FechaInicioReal	Fecha de fin real	Hora de inicio real	Hora de fin real	Trabajo real
H-4701A	ZM02	2000096959	09.11.2016	09.11.2016	09.11.2016	08:00:00	19:13:05	1,5
H-4701A	ZM02		09.11.2016	09.11.2016	09.11.2016	08:00:00	19:13:05	1,5
H-4701A	ZM02		09.11.2016	09.11.2016	09.11.2016	08:00:00	19:13:05	1,5
H-4701A	ZM02	2000096313	19.10.2016	19.10.2016	19.10.2016	00:00:00	10:32:57	1,0
H-4701A	ZM02	2000096015	06.10.2016	06.10.2016	06.10.2016	08:00:00	14:15:57	3,0
H-4701A	ZM02	2000092408	08.06.2016	05.06.2016	05.06.2016	08:00:00	13:34:25	3,0
H-4701A	ZM02		08.06.2016	05.06.2016	05.06.2016	08:00:00	13:34:26	3,0
H-4701A	ZM02		08.06.2016	05.06.2016	05.06.2016	08:00:00	13:34:26	3,0
H-4701A	ZM02	2000091392	05.05.2016	04.05.2016	04.05.2016	08:00:00	11:41:27	1,0
H-4701A	ZM02		05.05.2016	04.05.2016	04.05.2016	08:00:00	11:41:48	1,0
H-4701A	ZM01	1000009846	04.12.2016	04.12.2016	04.12.2016	00:00:00	07:02:45	1,0
H-4701A	ZM01		04.12.2016	04.12.2016	04.12.2016	00:00:00	07:03:15	1,0
H-4701A	ZM01	1000009154	14.10.2016	14.10.2016	14.10.2016	06:27:23	06:27:23	1,0
H-4701A	ZM01		14.10.2016	14.10.2016	14.10.2016	06:27:37	06:27:37	1,0
H-4701A	ZM01	1000009123	11.10.2016	11.10.2016	11.10.2016	05:55:44	05:55:44	0,0
H-4701A	ZM01		11.10.2016	11.10.2016	11.10.2016	05:55:44	05:55:44	0,0
H-4701A	ZM01		12.10.2016	11.10.2016	12.10.2016	05:55:44	01:25:16	2,0
H-4701A	ZM01		12.10.2016	11.10.2016	12.10.2016	05:55:44	01:25:20	2,0
H-4701A	ZM01	1000009046	06.10.2016	06.10.2016	06.10.2016	08:00:00	17:21:10	3,0
H-4701A	ZM01		06.10.2016	06.10.2016	06.10.2016	08:00:00	17:21:26	3,0
H-4701A	ZM01	1000008786	12.09.2016	11.09.2016	12.09.2016	06:44:02	06:44:02	2,0
H-4701A	ZM01		12.09.2016	11.09.2016	12.09.2016	06:44:25	06:44:25	2,0

Figura 15. Ejemplo de notificaciones extraídas de transacción IW47

El Down Time, tampoco es registrado, no pudiendo saber cuánto tiempo efectivamente el equipo se encuentra inoperativo. Esta información debiese ser registrada en la transacción IW28.

En la Figura 16, se presenta un aviso correctivo de emergencia donde se solicita un cambio de polines para una correa. Se describe el trabajo realizado siendo que esto debió escribirse en la orden de mantenimiento, y no describe el problema que presento el equipo. Esta clase de registros se replica en la mayoría de los casos.

The screenshot displays a software interface for managing maintenance alerts. At the top, there is a navigation bar with options: 'Aviso de mantenimiento', 'Ir a', 'Pasara', 'Detalles', 'Entorno', 'Sistema', and 'Ayuda'. Below this is a toolbar with various icons. The main title of the window is 'Visualizar aviso-MT: Aviso Correctivo'. The form contains the following fields and sections:

- Status mensaje:** MECE ORAS
- Orden:** 1000012912
- Objeto de Ref. / Datos adicionales 2 / Avería, parada / Datos emplazamiento:**
 - Objeto de referencia:**
 - Ubic.téc.: H-4701A (Correa Transportadora Fondo Torre)
 - Equipo: H73 (Correa del fondo de la torre)
 - Conjunto: [Empty]
 - Circunstancias:**
 - Codificación: [Empty]
 - Descripción: cambio de polines de carga
 - Circunst.txt.explic.: Abrir pts- traslado de herramientas- bloquear correa- se cambian 3 polines de carga malos- se instalan polines nuevos- trabajo queda concluido- cerrar pts. ejecuta: c.castillo tiempo: 1,0 hrs fecha: 28.08.2017
 - Responsabilidades:**
 - Grupo planif.: E01 / E002 (GPI MECANICA)
 - Pto.tbjo.resp.: JAMEC / E002 (Jefe Area Mecánica)
 - Autor del aviso: LCASTILLO
 - Fecha de aviso: 27.08.2017 21:59:33

Figura 16. Ejemplo aviso correctivo extraído de transacción IW38

A modo de conclusión, existe evidencia de que estas tres transacciones no cumplen completamente con los requerimientos de información que recomienda el estándar ISO 14224. Además, falta información referente a la información adicional que sugiere agregar el estándar tal como mecanismo de falla, métodos de detección, entre otros.

5.2.2 Análisis de calidad de datos en Sistema SIRI

Los ITF corresponde al único sistema que presenta la información adicional requerida por el estándar ISO 14224 sobre fallas y mantenimientos, ya que corresponde a un proceso investigativo, desarrollado por las distintas disciplinas del Área de Mantenimiento tales como Confiabilidad, Mecánica, Eléctrica, Instrumentación y Control. Incluyendo información tales como causa raíz, acciones de emergencia (mantenimiento correctivo), acciones preventivas permanentes. Sin embargo, estas nuevas acciones preventivas no son incluidas dentro del plan de mantenimiento preventivo de los activos.

Como se puede observar en la Figura 17, en los ITF se toma conocimiento de las fallas mediante la técnica de “los 5 por qué” de manera de encontrar la causa raíz de la falla. Se indican las acciones de emergencias, correspondientes a las acciones correctivas llevadas a cabo para solucionar la falla. Acciones correctivas permanentes para evitar que se vuelvan a repetir las causas de la falla y acciones preventivas permanentes que refuerzan las acciones correctivas tomadas.

En la Tabla 6 se muestra el resumen de la comparación de la información requerida por el estándar ISO 14224 y la evidencia encontrada en SIRI.

Tabla 6. Comparación de información de Sistema SIRI con los requisitos del estándar ISO 14224

Requerimiento	Presenta registro
Registro de único de falla	Sí (N° de ITF)
Fecha de falla	Sí
Modo de falla	Sí
Impacto de la falla sobre el equipo	Sí
Condición de operación al momento de la falla	No
Registro de mantenimiento	No
Fecha de mantenimiento	No
Duración del mantenimiento	No
Down time	No

I. INCIDENTE				
Flash N°:	Flash N° 1300			
Fecha:	06/09/2015	21:22:00		
Área(s) Detenida(s):	92			
Descripción Incidente:	A la hora indicada se detiene el prillado del area 92 por vibraciones de H-9206 en polin de cola.			
Elaborado por:	Revulo Aranda			
Otros Flash Asociados:				
II. INFORME TÉCNICO DE FALLA				
ITF:	ITF-254-1300			
Proceso:	Area seca	Ubicación Técnica:	H-9206	
Fecha Emisión:	08/09/2015	Estado:	Aprobado	
HH Invertidas				
DCR:	<input type="checkbox"/> Existe DCR Asociado			
Solped:	<input type="checkbox"/> Existe Solped Asociada			
¿POR QUÉ?				
1. ¿Por qué?	Se deja de producir 30 toneladas de prill			
2. ¿Por qué?	por vibraciones y consumo anormal de polea H-9206			
3. ¿Por qué?	Raspador polea de cola muy ajustado			
4. ¿Por qué?	Por mala regulacion durante la mantencion			
5. ¿Por qué?	Falto inspeccion durante la entrega por parte de mantencion y operacion			
CAUSA RAÍZ				
Causa Raíz:	Raspador muy ajustado			
ACCIONES DE EMERGENCIA				
ACCIÓN DE EMERGENCIA N° 1				
Se detiene area para realizar nuevo ajuste				
	RESPONSABLE			ESTATUS
	Jefe Turno			Fierutado
ACCIONES CORRECTIVAS PERMANETES				
ACCIÓN CORRECTIVA PERMANENTE N° 1				
Realizar mejores recepciones de los trabajos asignados a contratistas				
	RESPONSABLE	FECHA	ESTATUS	PARO DE PLANTA
	Audo Honores	31/12/2015	En ejecucion	<input checked="" type="checkbox"/>
	ORDEN DE TRABAJO			
ACCIONES PREVENTIVAS PERMANENTES				
ACCIÓN PREVENTIVA PERMANENTE N° 1				
Hacer comisionamiento a trabajos realizados por contratistas durante PPP				
	RESPONSABLE	FECHA	ESTATUS	PARO DE PLANTA
	Roberto Castillo Rubilar	31/12/2015	En ejecucion	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 17. Interfaz IFT, Sistema SIRI

Debido a que SIRI corresponde a una plataforma interna de la Planta podría ser posible incluir nuevos campos con la información faltante requerida por el estándar ISO 14224. Pero debido a que estos procesos investigativos son relacionados solo en fallas recurrentes, el resto de las fallas que no sean ingresadas en este portal, permanecerán carentes de todos los requisitos de información del estándar.

5.2.3 Análisis de calidad de datos en Sistema Tronador

Este sistema permite visualizar el impacto que ocasiono la falla en el área, correspondiente a la información adicional del estándar “Consecuencias de la falla” específicamente el impacto en la producción mediante la duración de la detención.

En este sistema las detenciones de las áreas de la Planta son ingresadas por el personal de Área de Confiabilidad. Como se puede observar en la Figura 18 la información entregada corresponde a la fecha y hora, de las detenciones y partidas de las áreas, el tipo de detención correspondiente a “Programada” o “No Programada” y la fuente de donde se obtuvo la información. No completando en la mayoría de los casos el equipo a la cual está asociada la detención no programada, información relevante para poder asociar estas detenciones a la información solicitada por el estándar.

En la Tabla 7 se presenta una comparación de la información entregada por el sistema versus la entregada por el sistema.

Tabla 7. Comparación de información Tronador con los requisitos del estándar ISO 14224

Requerimiento	Presenta registro
Registro de único de falla	Sí
Fecha de falla	Sí
Modo de falla	No
Impacto de la falla sobre el equipo	No
Condición de operación al momento de la falla	No
Registro de mantenimiento	No
Fecha de mantenimiento	No
Duración del mantenimiento	No
Down time	No

The screenshot displays the ENAEX Tronador system interface. At the top, there is a banner for 'Enaex ENAEX Energía y Servicio a la Minería'. Below the banner is a navigation menu with items: Inicio, Gerencia, PANNA 1 y 2, PANNA 3, PANNA 4, Informes Generales, Explosivos, Informes de Gestión, Envinos, and Detenciones. A filter section shows 'Filtrar por Planta : Area 47' and a 'Filtrar' button. Below this is a link to 'Agregar Nueva Detención'. The main content is a table with the following columns: Id, Planta, Fecha_det, Hora_det, Fecha_par, Hora_par, Tipo, Fuente, Otros, Especialidad, Equipo, and Senal. The table contains 17 rows of data representing equipment stoppages.

Id	Planta	Fecha_det	Hora_det	Fecha_par	Hora_par	Tipo	Fuente	Otros	Especialidad	Equipo	Senal
3509	Area 47	19-11-2016	00:26	19-11-2016	16:59	No Prog	Operaciones				
3508	Area 47	16-11-2016	14:29	17-11-2016	01:20	No Prog	Mantenimiento				
3496	Area 47	10-11-2016	14:51	11-11-2016	22:19	No Prog	En Análisis				
3495	Area 47	09-11-2016	08:52	09-11-2016	22:43	No Prog	Operaciones				
3474	Area 47	05-11-2016	15:42	05-11-2016	22:37	No Prog	En Análisis				
3465	Area 47	30-10-2016	11:55	30-10-2016	17:21	No Prog	Mantenimiento				
3464	Area 47	25-10-2016	05:31	25-10-2016	09:00	No Prog	Operaciones				
3449	Area 47	21-10-2016	09:55	21-10-2016	11:51	No Prog	Operaciones				
3430	Area 47	15-10-2016	22:44	16-10-2016	04:05	No Prog	Mantenimiento				
3429	Area 47	10-10-2016	00:00	14-10-2016	02:54	No Prog	Operaciones				
3401	Area 47	07-10-2016	20:00	09-10-2016	23:59	No Prog	Operaciones				
3400	Area 47	03-10-2016	00:00	07-10-2016	20:00	No Prog	Mantenimiento				
3371	Area 47	26-09-2016	00:00	02-10-2016	23:59	No Prog	Mantenimiento				
3358	Area 47	24-09-2016	09:53	25-09-2016	23:59	No Prog	Operaciones				
3357	Area 47	23-09-2016	09:27	23-09-2016	10:36	No Prog	Mantenimiento				
3356	Area 47	21-09-2016	22:21	22-09-2016	21:36	No Prog	Operaciones				

Figura 18. Ejemplo interfaz de Sistema Tronador

5.3 Proceso de levantamiento de la información disponible en la Planta

En este punto se describe cómo se desarrolla el proceso de recolección de datos con los medios de información disponibles en la Planta.

Primero es necesario determinar el periodo de tiempo de estudio, o tiempo de vigilancia como lo llama el Estándar. A requerimiento de la empresa el periodo de tiempo a estudiar es el comprendido entre el 01-01-2015 y el 30-05-2017.

Se utiliza el Sistema de Investigación y Reportabilidad de Incidentes como punto de inicio, específicamente los ITF. Durante el periodo de vigilancia se recopilan todos los datos de fallas presentes en ese sistema, permitiendo recolectar no solo datos de fallas sino, realizar un filtro de todos los equipos mecánicos y rotatorios que se incluyen en la base de datos, es decir, solamente los equipos presentes en SIRI se ingresan a la Base de Datos.

De esta forma, al analizar cada uno de los ITF, se encuentran 133 equipos. Con los equipos ya identificados se procede a buscar su información de fallas y mantenimientos en los otros sistemas. El listado completo de equipos se presenta en el Anexo 3

Una vez determinados los equipos, se ingresa al sistema SAP donde aplicando el filtro del periodo de vigilancia y el TAG de los equipos escogidos, se procede a buscar los avisos y órdenes de trabajo tipo ZM01, ZM02 y ZM03.

Finalmente, en el Sistema Tronador aplicando los mismos filtros anteriores se encuentran todas aquellas fallas de equipos que ocasionan detenciones de áreas. Sin embargo, como la mayoría de las veces los datos no presentaban el equipo asociado a la detención del área, se utiliza el área y la fecha para correlacionarla con una falla en SAP o ITF.

Con toda la información recopilada se procede a contrastar la información de cada sistema y unirla, ya que cada uno funciona de manera independiente del otro. Es decir, al momento de que se ingresa una falla en SIRI, puede ser ingresado a SAP como un

aviso, y su mantenimiento ingresado como una orden, o solo existir una orden de mantenimiento. Así mismo, puede estar ingresado en Tronador en caso de haber generado una detención de área. Encontrándose información de falla en los sistemas de la forma siguiente:

- 1.- Solo en SIRI (ITF)
- 2.- Solo en SAP su orden de trabajo y aviso
- 3.- Solo en Tronador
- 4.- En SIRI (ITF), en SAP su orden y aviso
- 5.-En SIRI (ITF), en SAP su orden y aviso, y en Tronador

Los casos 4 y 5 corresponden a los registros de fallas que poseen mayor cantidad de información pudiendo rescatar todos los datos requeridos por el Estándar. Sin embargo, los otros casos también entregan precedentes de una falla sucedida y deben considerarse de igual manera.

La información entregada por cada sistema puede resumirse en la Tabla 8.

Tabla 8. Información presente en cada sistema

Sistema de información	Información obtenida
SIRI	Equipo en falla
	Identificación de la falla
	Componente en falla
	Fecha de la falla
	Modo de falla
	Causa de falla
	Mecanismo de falla
	Método de detección
	Actividad de mantenimiento
	Impacto en el funcionamiento del equipo
SAP	Equipo en falla
	Identificación de la falla
	Fecha de la falla
	Identificación del mantenimiento
	Fecha del mantenimiento
	Componente en falla
	Tiempo total de mantenimiento
	Consecuencia Operacional
	Impacto de la falla en el funcionamiento del equipo
Tronador	Equipos que detienen el área
	Identificación de la falla
	Fecha de la falla
	Duración de las detenciones
	Impacto en la producción

Sin embargo, no todos los registros en cada sistema se encuentran completos, la calidad de la información depende de la descripción que fue entregada por cada usuario al momento de reportar la falla.

La forma de unir la información es mediante el Área-equipo-fecha de falla-descripción de la falla, y así crear una correspondencia entre los tres sistemas para un mismo evento.

En la Tabla 9 se resume la información de fallas presentes de cada uno de estos 133 equipos de acuerdo a los casos expuestos anteriormente:

Tabla 9. Número de registros de cada sistema de información

Sistema	SIRI	SAP	Tronador	SIRI y SAP	3 Sistemas
Número de registros	200	2734	147	73	28

Se puede observar que la mayoría de los registros pertenecen solo a SAP, la cual no es una plataforma para llevar cuantificación y análisis de falla. Lo que hace notar la importancia de tener un sistema que permita registrar de manera completa todas las fallas.

Al momento de comparar los requisitos de información del Estándar con los disponibles en los sistemas antes mencionados se puede resumir en la siguiente Tabla 10:

Tabla 10. Resumen información disponible requerida por el Estándar

	Información	Disponible	No disponible
Identificación del equipo	Codigo nombre planta /unidad	x	
	Clase de Equipo	x	
	Tipo de Equipo		x
	Marca		x
	Estado de operación normal		x
	Fecha de partida servicio		x
	Tiempo de operación [horas]		x
Datos de la falla	Registro de único de falla	x	
	Fecha de falla	x	
	Modo de falla	x	
	Impacto de la falla sobre el equipo	x	
	Condición de operación al momento de la falla		x
Datos del mantenimiento	Registro de mantenimiento	x	
	Fecha de mantenimiento	x	
	Duración del mantenimiento	x	
	Down time		x

Los datos que no se encuentran disponibles tales como: el fabricante, el tipo de equipo, modo/estado operativo. Estos requieren un levantamiento en terreno.

El impacto de la falla en la función del equipo, la condición operativa al momento de la falla, y el Down time hacen notar la importancia de la estandarización de datos, ya que la Planta al no poseer un sistema de datos de falla determinado permite obviar estos datos importantes.

Al comparar la información completa requerida por el Estándar versus lo que realmente se encuentra en los sistemas de información, es decir uniendo SIRI y SAP que es donde se encuentra la información más completa de fallas y mantenimientos, para este estudio se concluye que solo 2,6% de los registros posee la información necesaria.

Es por esto que a continuación se propone la estructura de una base de datos, que permita crear un histórico de las fallas con la información actual, pero considerando todos los datos requeridos por el estándar ISO 14224-16 para ser considerados como información necesaria a futuro.

6. Base De Datos De Fallas Y Mantenimientos

La base de datos de fallas y mantenimientos debe tener una estructura centrada en el equipo (TAG), que permita relacionarlo con las fallas que ha tenido este equipo y con los mantenimientos correctivos y preventivos realizados. A su vez los datos de falla deben estar directamente relacionados con el mantenimiento correctivo efectuado. Cada uno de estos datos principales se encuentran insertos dentro de las categorías principales determinadas por el Estándar ISO 14224-16: Datos de Equipos, Datos de falla y Datos de mantenimiento como puede verse en la Figura 19.

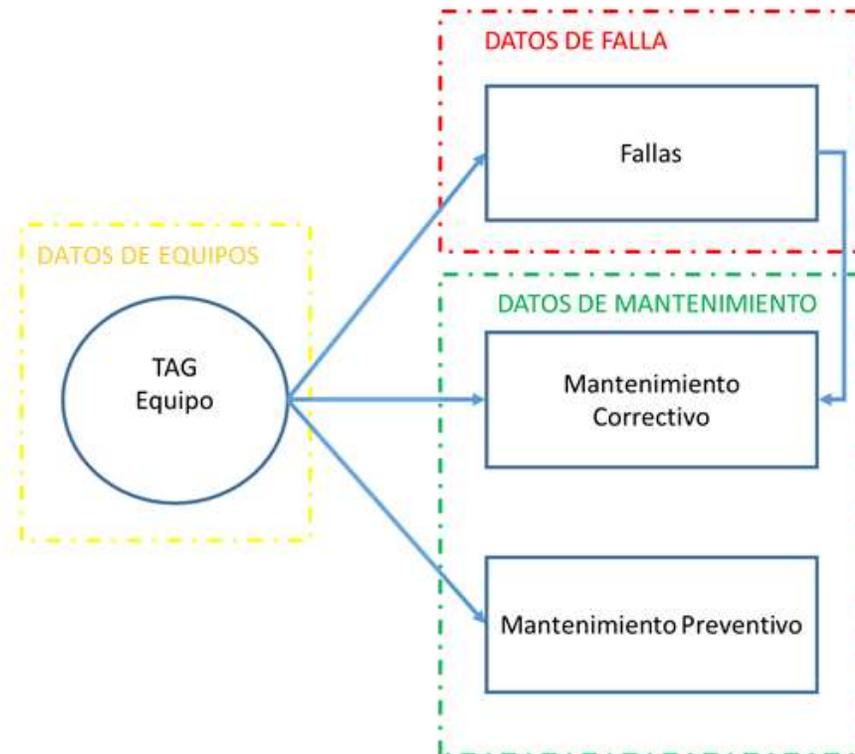


Figura 19. Estructura principal base de datos

A continuación se describe el contenido de cada categoría de la base de datos:

6.1 Datos de equipos

La descripción exhaustiva del equipo incluye datos tales como: Descripción del equipo, Fabricante, Modelo, Capacidad, Fecha de fabricación, Fecha de instalación del equipo, Fecha de puesta en servicio del equipo es necesaria sobre todo en caso de cambiar el equipo por otro distinto, o cuando se intercambia por uno que estaba reparaciones.

6.2 Datos de falla

El identificador de la falla puede ser el N° de un ITF, o el N° de un aviso, o en el caso de no tener se debe a que fue información rescata de Tronador, la cual no tiene número identificador, pero de igual manera se encuentra ligado al equipo. En caso de poseer información en más de un sistema se registran ambos datos en columnas separadas.

6.3 Datos de mantenimiento

El identificador del mantenimiento corresponde al N° de la orden de trabajo, en el caso de ser un mantenimiento correctivo, puede no tener N° de orden debido a que se trate de un ITF o un dato de Tronador. Los mantenimientos preventivos tienen solo número de orden de trabajo.

Los requerimientos de información presentes en la base de datos se encuentran en la Tabla 11.

Tabla 11. Requerimientos de información Base de datos

Datos de Equipo	Datos de falla	Datos de mantenimiento
Área	N° ITF	N° Orden de Trabajo
Categoría equipo	Fecha detección falla	Descripción Mantenimiento
Clase de equipo	Turno	Fecha mantenimiento
TAG	Sub-unidad	Tipo de mantenimiento
Descripción del equipo	Impacto de la falla en la seguridad de la Planta	Actividad de mantenimiento
Fabricante	Impacto de la falla en el funcionamiento del equipo	Impacto del mantenimiento en las operaciones de la Planta
Modelo	Duración detención Área	Ubicación de los repuestos
Capacidad	Impacto en la Producción	Total HH Mantenimiento
Fecha de fabricación	Impacto en las operaciones	N° Personas
Fecha de instalación del equipo	Costos	Duración mantención días
Fecha de puesta en servicio actual	Modo de falla	Recursos de equipamiento
Modo operativo	Mecanismo de falla	Tiempo activo de mantenimiento
	Subdivisión mecanismo de falla	Down time
	Causa de falla	Retrasos/problemas del mantenimiento
	Subdivisión causa de falla	Información adicional
	Método de detección	
	Condición operativa al momento de la falla	

7. Jerarquización De Equipos

Para realizar el posterior estudio de confiabilidad es necesario realizar una jerarquización de los equipos, para determinar aquellos equipos más críticos donde es necesario dirigir más cantidad de recursos (humanos, económicos y tecnológicos) [11].

Para esto se utiliza el método de Criticidad Total por Riesgo (CTR), el cual es un método semicuantitativo que considera un factor de frecuencia de fallos en un determinado periodo de tiempo (FF) y un factor de consecuencia de los eventos sucedidos (C) [11].

Definido de la siguiente manera:

$$CTR = FF \times C \quad (10)$$

El factor de las consecuencias se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \quad (11)$$

Donde

- **IO:** Impacto Operacional, determinado por las pérdidas de producción.
- **FO:** Flexibilidad operacional, determinado por la capacidad de cubrir la producción con otros equipos similares.
- **CM:** Impacto en los costos de mantenimiento, determinado por los costos de reparación, materiales y mano de obra.
- **SHA:** Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente, determinado por los daños para las personas y el medio ambiente.

Cada uno de los componentes del CTR, se evalúa por medio de un puntaje dependiendo de la gravedad de los factores. El valor y descripción de cada uno de los valores de los factores fueron adaptados a la realidad de la Planta como se describen a continuación:

Factor de frecuencia de falla (FF), número de veces en el año que se presenta la falla. Los valores de este factor se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores de Factor FF

Valor FF	Frecuencia	Descripción
4	Frecuente	más de 15 eventos en el año
3	Probable	Entre 10 y 15 eventos en el año
2	Posible	Entre 5 y 9 eventos en el año
1	Improbable	Improbable: Entre 1 y 4 eventos en el año

Factor de Impacto Operacional (IO), este factor indica el impacto que tiene la falla en la producción. Los valores de este factor se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de Factor IO

Valor IO	Impacto	Descripción
10	Catastrófico	Detención total del complejo
8	Severo	Gran impacto sobre la producción: Trip de área, afecta temporalmente la producción/ pérdida de calidad del producto (100% rechazo)
4	Moderado	Impacto significativo en la producción. Detención del sistema o Calidad Interna limitada
1	Menor	Restricción en el proceso: Detención del equipo, redundancia parcial

Flexibilidad Operacional (FO), este factor indica la flexibilidad existente para reparar el equipo en falla y la oportunidad de operar eventualmente con otro equipo en caso de que operen en paralelo. Los valores de este factor se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores de Factor FO

Valor FO	Impacto	Descripción
4	Alto	Equipo único, Requiere apoyo experto/ repuesto fuera de Chile/bodegas Vendedor.
3	Moderado	Equipo único, Hay opción de repuesto compartido/ Personal disponible a nivel local. Materiales o insumos en bodega.
2	Medio	Equipo en paralelo, Requiere apoyo experto/ repuesto fuera de Chile/bodegas Vendedor.
1	Bajo	Equipo en paralelo, Hay opción de repuesto compartido/ Personal disponible a nivel local. Materiales o insumos en bodega.

Factor Impacto en los costos de mantenimiento (CM), este factor evalúa el costo monetario para llevar a cabo la reparación del equipo. Los valores de este factor se presentan en la Tabla 15:

Tabla 15. Valores de Factor CM

Valor CM	Impacto	Descripción
2	Alto	Costo total de mantenimiento > 8000 US
1	Bajo	Costo total de mantenimiento < 8000 US

Factor Impacto en seguridad, Higiene y Ambiente (SHA), este factor evalúa el impacto que puede tener en las personas o en el medio ambiente, como consecuencia la falla, siendo definido por la empresa como se presenta en la Tabla 16:

Tabla 16. Valores de Factor SHA

Valor SHA	Impacto	Descripción
10	Catastrófico	Fatalidad o pérdida de la calidad de vida/Impacto irreversible en la salud
8	Alto	Accidente con tiempo perdido/ Impacto reversible sobre la salud
6	Medio	Tratamiento médico / Exposición a riesgo mayor a la salud
4	Bajo	Primeros auxilios / Exposición a riesgo menor a la salud
1	Nulo	Sin impacto a la salud

Matriz de Jerarquización de Criticidad

Con los valores de cada uno de los factores se crea una matriz de jerarquización de criticidad de las fallas que determina equipos Críticos (C), de media criticidad (MC) y No Críticos (NC), de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 20:

4	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	NC	MC	C
	10	20	30	40	50

Figura 20. Matriz de jerarquización de criticidad [12]

Se procede a evaluar los equipos pertenecientes a la base de datos, según los factores antes expuestos filtrando según el Factor a evaluar, el periodo de evaluación de estos factores en los equipos corresponde solo al año 2017 para evaluar los equipos que son actualmente críticos. Estos factores serán presentados a continuación:

7.1 Evaluación factor frecuencia de falla (FF)

La frecuencia de falla es evaluada de acuerdo con el número de mantenimientos correctivos que ha presentado cada equipo en el periodo de estudio, información presente en el sistema SAP.

En la Tabla 17 se presentan los equipos con mayor número total de órdenes de trabajo de mantenimientos correctivos.

Tabla 17. Valor del Factor FF en los equipos

TAG Equipo	Nombre Equipo	N° de Fallas	Valor FF
S-9301	Harnero Primario	27	4
3640-11	Bag Filling Unit (Máquina Ensacadora)	26	4
P-6864C	Bomba solución oxidante	21	4
H-4801	Correa Maxisacos	20	4
H-9205	Correa transportadora secado	19	4
H-9313B	Rodillos Transportador de Maxibags	19	4
H-4701A	Correa Transportadora Fondo Torre	15	4
E-8105	PGC	14	3
H-9201B	Correa Transportadora Fondo Torre	14	3
P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	13	3

7.2 Evaluación factor impacto operacional (IO)

En el periodo de estudio no se registran impactos de carácter catastrófico, sin embargo, el sistema Tronador entrega los equipos que han ocasionado impactos de carácter severo. Al no tener mayor información todas las otras fallas fueron caracterizadas como impacto menor. La Tabla 18 muestra la evaluación del impacto de los equipos que presentaron más impactos de carácter severo durante el periodo de estudio.

Tabla 18. Valor del factor IO de los equipos

TAG Equipo	Nombre Equipo	N° de Fallas	Valor IO
P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	7	8
3640-11	Bag Filling Unit (Máquina Ensacadora)	5	8
S-9201	Harnero	3	8
S-9202_03B	Tambor Secador B	2	8
S-4704	Tambor de Recubrimiento	2	8
E-4703A	Calentador del aire del secador	2	8
S-9202_03A	Tambor Secador A	2	8
F-8104	Filtro de amoniaco	2	8
P-6819B	BOMBA MONO B	2	8
P-9206A	Bomba Pulverizadora	1	8

7.3 Evaluación factor flexibilidad operacional (FO)

Los equipos fueron evaluados según si son únicos en la planta o existe equipos en paralelo, y la facilidad para ser reparados.

Equipos claves como turbinas, reactores, compresores e intercambiadores de calor son evaluados con alto puntaje debido a que son enviados a las bodegas del proveedor requiriendo alto tiempo de reparación. En la Tabla 19 se encuentran algunos de los equipos que están valorizados de mayor manera según la definición:

Tabla 19. Evaluación del factor FO de los equipos

TAG Equipo	Nombre Equipo	Valor FO
2690-01A	Caldera de Partida (Sub 1)	4
B-8101	Caldera De Partida	4
K-4502	Compresor Gas de Proceso	4
K-4505	Compresor Gas de Proceso	4
E-6856	Intercambiador de Calor	4
1120	Neutralizador	4
R-4601	Neutralizador	4
E-8105	PGC	4
E-8114	Pre calentador Agua de Alimentación	4
R-9101	Reactor	4
R-8101	Tapa Reactor	4
M-8101	Turbina de Vapor	4

7.4 Evaluación factor impacto en los costos de mantenimiento (CM)

Se realiza la suma de aquellos mantenimientos correctivos realizados de manera de encontrar los equipos con un mayor valor del factor CM. En la Tabla 20 se muestra la evaluación de los equipos según el factor CM.

Tabla 20. Costos mantenimientos correctivo

TAG Equipo	Nombre Equipo	Costo (CLP)	Valor CM
S-9301	Harnero Primario	\$ 88.553.893	2
E-6858A	Intercambiador de Calor	\$ 16.655.061	2
E-8105	PGC	\$ 12.049.447	2
H-9201B	Correa Transportadora Fondo Torre	\$ 10.320.657	2
P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	\$ 7.453.169	2
C-9201	Edificio Torre De Prill En General	\$ 6.462.926	2
E-7341A	Intercambiador de Placa	\$ 6.145.750	2
P-6864C	Bomba solución oxidante	\$ 6.108.791	2

7.5 Evaluación factor impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)

En la Planta no se han presentado grandes impactos ambientales o muertes debido a fallas de equipo. Sin embargo, todos aquellos equipos que trabajan con ácido y solución de nitrato de amonio fueron catalogados con puntaje 6 correspondiente a “Tratamiento médico / Exposición a riesgo mayor a la salud”, es decir los equipos pertenecientes a las áreas 45, 46, 81, 91 y 68. Los demás equipos fueron catalogados con valor 4 correspondiente a “Primeros auxilios / Exposición a riesgo menor a la salud”

7.6 Evaluación equipos de acuerdo a matriz de criticidad

De acuerdo al método expuesto anteriormente se evalúan los equipos del estudio que presentaron fallas durante el año 2017 de manera de analizar los equipos que actualmente presentan problemas. Fueron evaluados 111 equipos, de los cuales un 1% corresponden a equipos críticos y un 23 % a equipos medios críticos. En la Tabla 21 se presentan los valores de criticidad total por riesgo y la caracterización según la matriz de riesgo de los equipos con valores de CTR más altos:

Tabla 21. Valor CTR equipos

TAG Equipo	Nombre Equipo	FF	IO	FO	CM	SHA	C	CTR	Nivel de Criticidad
3640-11	Bag Filling Unit (Máquina Ensacadora)	4	8	3	2	4	30	120	C
H-9205	Correa transportadora secado	4	8	3	1	4	29	116	MC
S-9301	Harnero Primario	4	4	3	2	4	18	72	MC
H-4801	Correa Maxisacos	4	4	3	1	4	17	68	MC
S-9201	Harnero	2	8	3	2	4	30	60	MC
S-9202_03A	Tambor Secador A	2	8	3	1	4	29	58	MC
S-9202_03B	Tambor Secador B	2	8	3	1	4	29	58	MC
P-6857A	Bomba Mono Emulsiones	3	8	1	2	6	16	48	MC
R-9101	Reactor	2	4	4	2	6	24	48	MC
B-8101	Caldera De Partida	2	4	4	1	6	23	46	MC

En el Anexo 4 se encuentra el registro de los valores de CTR de todos los equipos evaluados y su posición en la matriz de Jerarquización.

A continuación, se presentan los equipos escogidos para desarrollar el Plan Piloto de Confiabilidad.

7.7 Determinación de los equipos escogidos para Plan Piloto de Confiabilidad

Por interés propio de la empresa se seleccionaron tres equipos para el Plan Piloto correspondientes a los siguientes:

- 3640-11, debido a que es la única máquina ensacadora de 25 kg, y su mal funcionamiento afecta la entrega de producto a los clientes.
- P-6857A, debido que es una de las dos únicas bombas encargadas de enviar emulsiones a silos de almacenamiento. Sus fallas alteran la entrega de este producto a los clientes

- S-9202_03B, corresponde a uno de los secadores del área 92, se hace prioritario debido a que tiene una condición de vibraciones que no se ha logrado solventar, por lo que se desea eliminar otras causas de fallas.

7.7.1 Máquina ensacadora Haver (3640-11)

La máquina ensacadora marca Haver & Boecker, es la encargada de armar los sacos de 25 kg de prill, el cual viene del Área 22. Esta máquina tiene múltiples funciones tales como cortar los sacos, llenarlos, sellarlos, y tomarlos para depositarlos en una correa.

Tabla 22. Datos Equipo 3640-11

Marca	Haver & Boecker
Modelo	FFS-Beta
Características	600 sacos/hora
Margen de pesada	25 kg



Figura 21. Vista exterior e interior de la máquina

7.7.2 Bomba Mono emulsiones P-6857A

Esta bomba de cavidad progresiva se encuentra en el Área 68. Su función consiste en enviar la emulsión producida a los silos para el carguío de camiones.

Tabla 23. Datos Equipo P-6857A

Marca	Netzsch Do Brasil
Modelo	
Caudal de diseño	15 m ³ /h
Presión de descarga	15 bar
Presión de succión	1,3 bar
NPSH diseño	-
Velocidad de Giro diseño	110 RPM



Figura 22. Imagen Bomba P-6857A

7.7.3 Secador S-9202_03B

Este corresponde a un equipo rotatorio, ubicado en el Área 92, el cual trabaja en paralelo con otro secador gemelo. En estos equipos ingresa el Prill húmedo a través de correas transportadoras para ser secado y endurecido por este secador mediante aire caliente.

Tabla 24. Datos Equipo S-9202_03B

Marca	Rosin
Tasa de flujo de operación	25.500 kg/h producto
Tasa de flujo de operación	55830kg/h aire
RPM	4



Figura 23. Vista zona descarga secador S-9202_03B

A continuación, se realizará el Estudio piloto de confiabilidad con los equipos mencionados.

8. Estudio Piloto De Confiabilidad

El siguiente estudio de confiabilidad, consiste en el estudio de los equipos seleccionados de manera de obtener conclusiones sobre los desempeños de estos equipos, para así determinar mejoras en los planes de mantenimientos de estos equipos. Para analizar sus datos de fallas, se utiliza el software Weibull ++ de Reliasoft.

Para realizar este estudio fue necesario calcular los tiempos entre fallas de los equipos del periodo de estudio (2015-2017) ingresados en la Base de Datos. Esto se realizó tomando la fecha y hora de los avisos (IW28) provenientes del sistema SAP o la fecha de detención del sistema del sistema Tronador. En caso de ser ITF y al no tener hora asociada se eligió arbitrariamente la hora 00:00:00. Considerando los tiempos de reparación de estos equipos provenientes de las notificaciones (IW47) de SAP. En la Tabla 25 puede observarse un ejemplo de la operación para obtener los tiempos entre fallas.

Tabla 25. Obtención de tiempos medios entre fallas

	A	B	C	D	E
1	Fecha Aviso	Hora	Fecha y hora	Tiempo reparación [h]	Tiempo entre fallas [h]
2	29-01-2015	14:45:00	29-01-2015 14:45	4	
3	29-03-2015	10:04:34	29-03-2015 10:04	4	1407,3
4	07-05-2015	0:33:16	07-05-2015 0:33	3	922,5
5	11-06-2015	0:00:00	11-06-2015 0:00	2	836,4
6	03-07-2015	16:53:53	03-07-2015 16:53	2	542,9
7	07-07-2015	15:30:20	07-07-2015 15:30	1,5	92,6
8	13-07-2015	0:41:22	13-07-2015 0:41	1,5	127,7
9	20-07-2015	17:17:12	20-07-2015 17:17	1	183,1
10	05-08-2015	17:37:42	05-08-2015 17:37	2	383,3
11	09-09-2015	19:39:01	09-09-2015 19:39	2	840,0
12	15-10-2015	13:43:06	15-10-2015 13:43	1,5	856,1

$E3=(C3-C2)*24-D2$

Luego los tiempos entre fallas son ingresados al Software, el cual se presenta a continuación:

8.1 Análisis de confiabilidad mediante Software Weibull ++

Weibull ++ (versión de prueba) es un software de análisis de datos de vida (análisis de confiabilidad), que entrega los parámetros de la distribución y también las curvas de 13 posibles distribuciones de probabilidad. Mediante el Asistente de Distribución de este software es posible comprobar la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos de falla disponibles. El análisis realizado por el asistente de distribución entrega los valores promedios de las siguientes pruebas de bondad de ajuste.

- La prueba de Kolmorov-Smirnov (MBDA)
- La prueba de coeficiente de correlación (MGRAF)
- La prueba de valor de verosimilitud (VV)

El cálculo de los parámetros de cada una de estas regresiones se hace mediante el Método de máxima verosimilitud (MLE).

El Asistentes de distribución permite implementar la distribución de probabilidad que más se asemeja a los datos de falla ingresados. En la Figura 24 se muestra un ejemplo que para ciertos datos la distribución seleccionada corresponde a Weibull 2 parámetros.

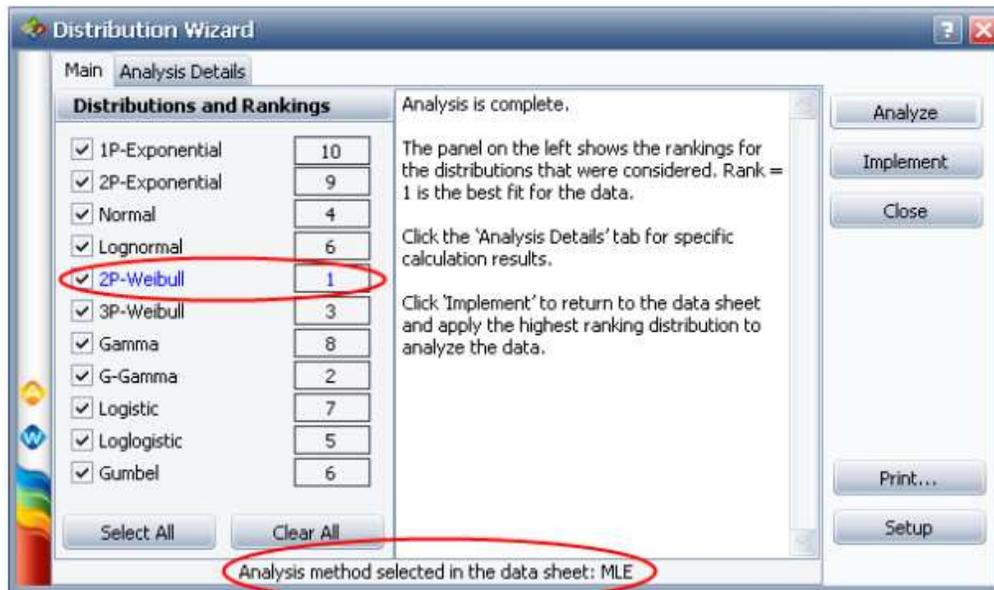


Figura 24. Interfaz Asistente de distribución

Luego de implementar la distribución escogida el software entrega los parámetros de la distribución escogida. En la Figura 25 se pueden ver los parámetros de la distribución de probabilidad de Weibull 2 parámetros siguiendo el ejemplo anterior



Figura 25. Parámetros de distribución Weibull 2 parámetros

El Software mediante la opción Plot permite crear gráficas para su posterior análisis tales como:

- Confiabilidad v/s tiempo: gráfica que indica los valores de confiabilidad a través del tiempo.
- Tasa de falla: permite visualizar la probabilidad de que equipo sin haber fallado antes falle en el instante siguiente, a través del tiempo.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos con este software para cada equipo:

8.1.1 Máquina ensacadora 3640-11

La distribución de probabilidad determinada por el Software corresponde a la distribución Gamma G. Al calcular el MTBF se encuentra que

$$MTBF = \frac{22815,3}{195} = 117 \text{ horas}$$

En el la Figura 26 se presenta los valores de confiabilidad en relación al tiempo. Al utilizar la gráfica de confiabilidad, para ubicar el tiempo medio entre falla se encuentra que para un MTBF de 117 horas, la confiabilidad corresponde a 26 % y una probabilidad de falla de 74%.

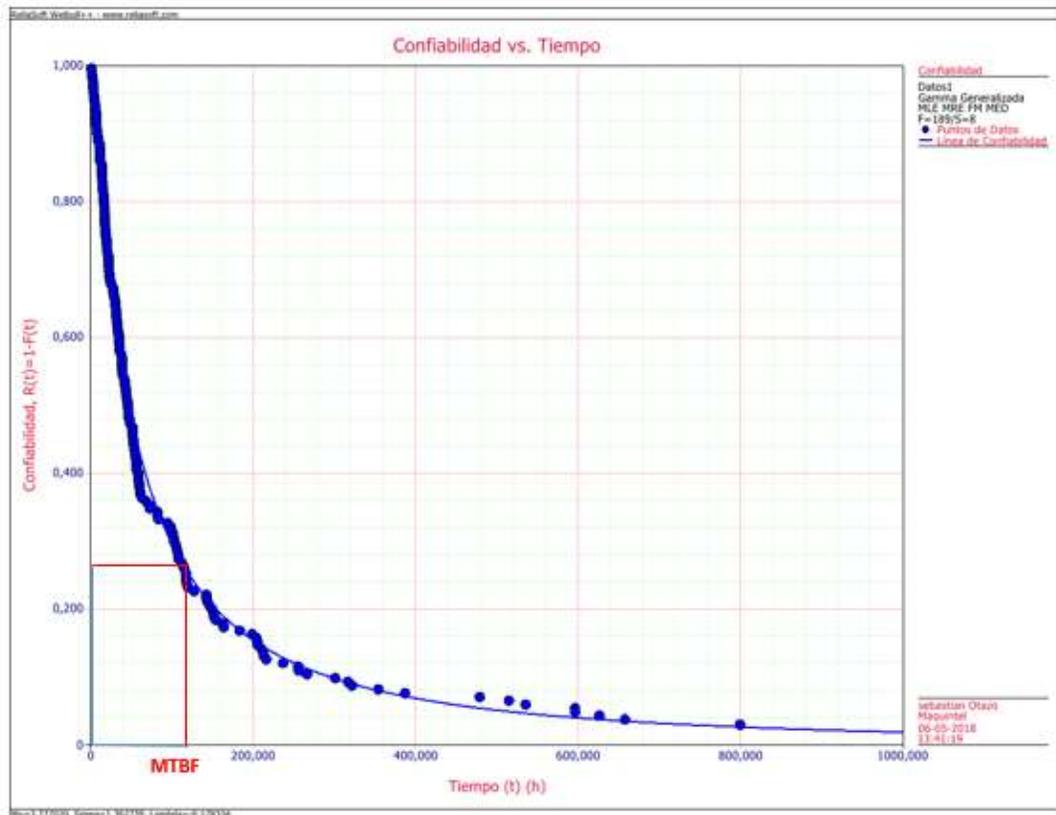


Figura 26. Confiabilidad vs tiempo. Equipo 3640-11

En la Figura 27 se presenta la tasa de falla vs el tiempo, indicando según la curva de Davies que para el MTBF igual 117 horas este equipo se encuentra en fase de rodaje de la curva de la bañera, a pesar de estar operando hace aproximadamente 4 años, estas fallas normalmente se deben a defectos materiales, diseños deficientes, montajes inadecuados entre otros, de acuerdo a lo expuesto por el autor Alberto Mora [9].

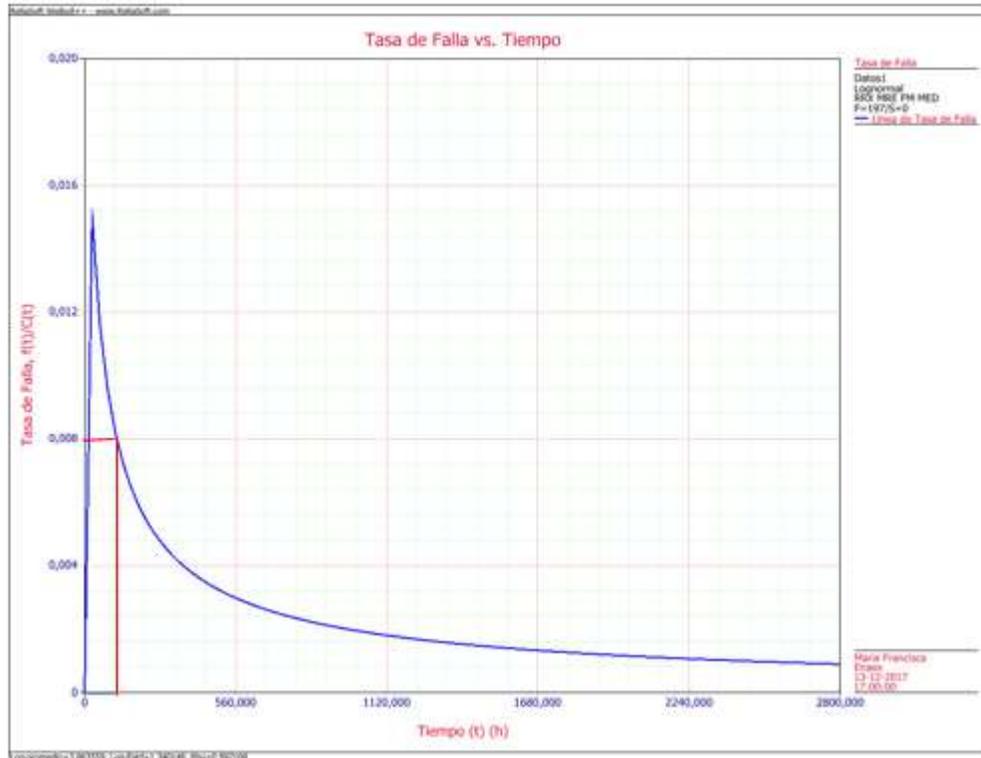


Figura 27. Tasa de falla vs el tiempo. Equipo 3640-11

8.1.2 Bomba P-6857A

El asistente de distribuciones detecta que la distribución que más se asemeja a los datos de falla de la bomba corresponde a la distribución Exponencial de dos parámetros.

Al calcular el MTBF se encuentra que corresponde a:

$$MTBF = \frac{20217,6}{47} = 430,5 \text{ horas}$$

En el la Figura 28 se presenta los valores de confiabilidad en relación al tiempo. Al utilizar la gráfica de confiabilidad, para ubicar el tiempo medio entre falla se encuentra que para un MTBF de 430,5 horas la confiabilidad corresponde a 36 % y una probabilidad de falla de 64%.

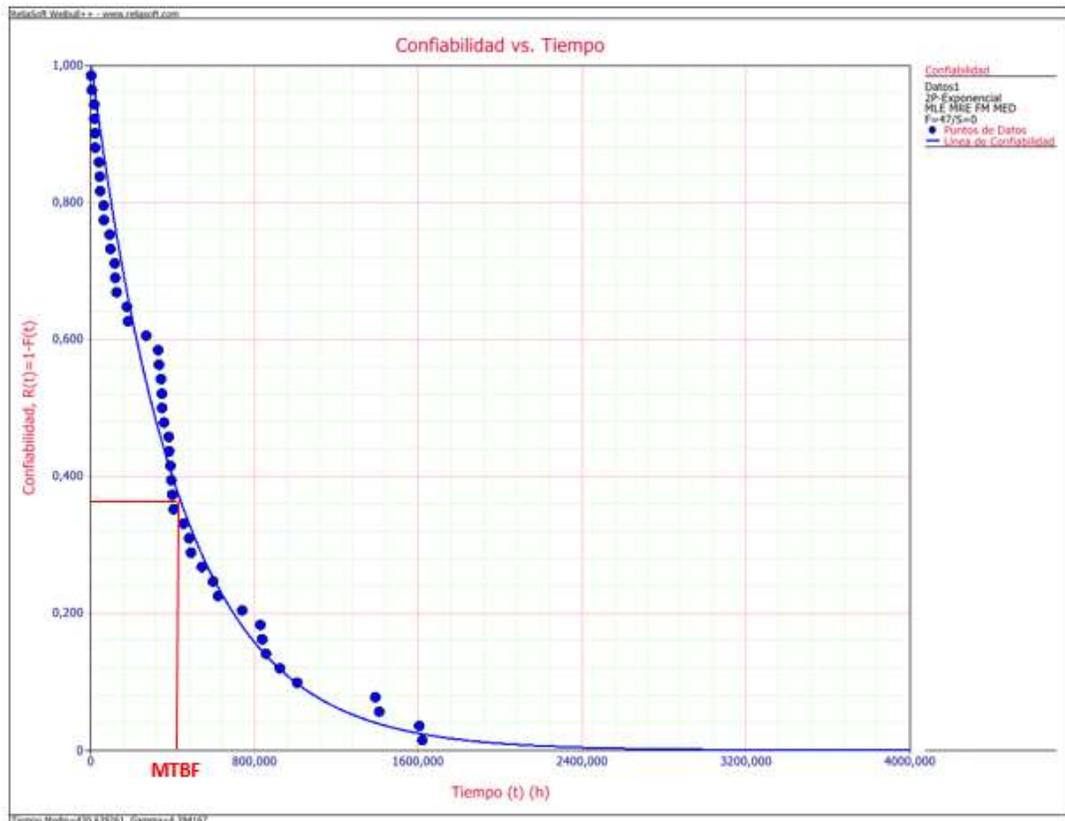


Figura 28. Confiabilidad vs tiempo. Equipo P-6857A

En la Figura 29 se presenta la Tasa de fallas del equipo la cual permanece constante, esto sitúa al equipo según la curva de la bañera en el periodo de vida útil de este. Ubicándolo en la Fase II de la curva de la bañera, estas fallas en general se deben a causas inmediatas o básicas causadas por condiciones técnicas del equipo o del recurso humano tales como cambios constantes en las condiciones de funcionamiento, de acuerdo a lo expuesto por el autor Alberto Mora [9].

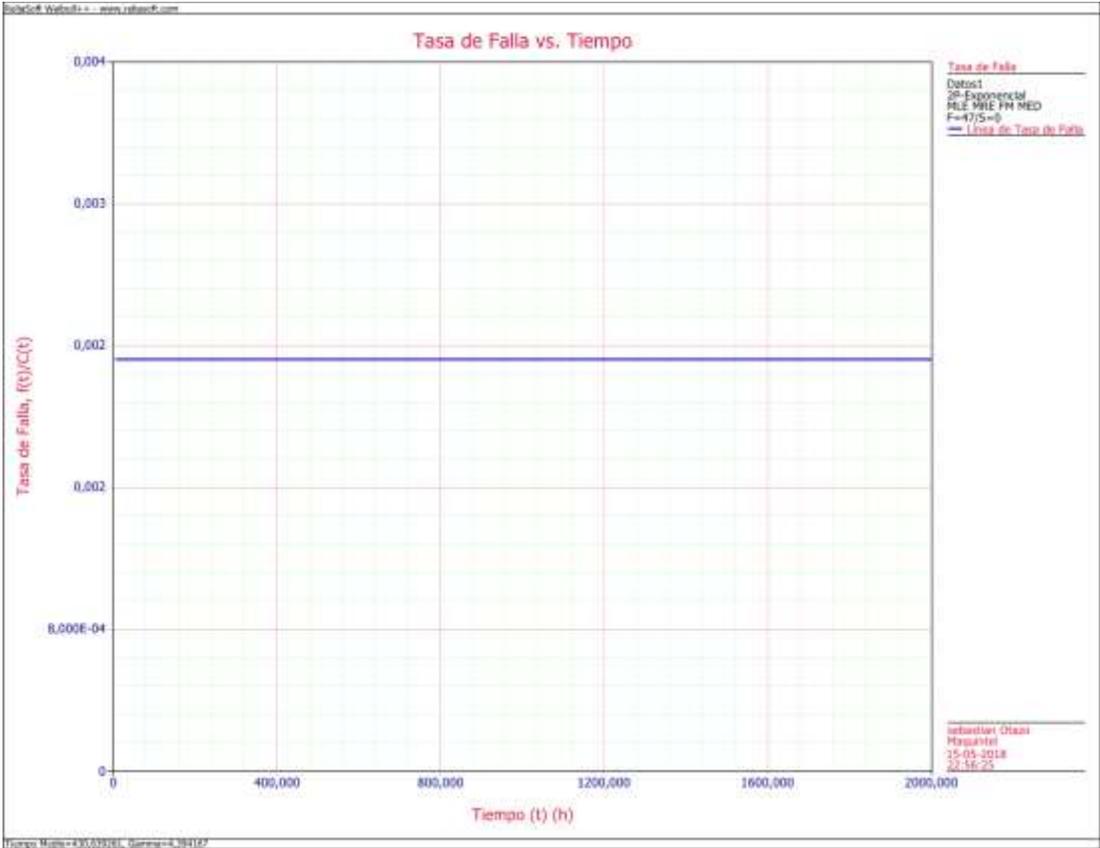


Figura 29. Tasa de fallas vs tiempo. Equipo P-6857A

8.1.3 Tambor Secador S-9202_03B

Los datos históricos del Tambor Secador se asemejan al modelo Lognormal de acuerdo al Software.

Al calcular el MTBF se encuentra que corresponde a:

$$MTBF = \frac{19794,4}{46} = 430,3 \text{ horas}$$

En la Figura 30 se puede apreciar que su confiabilidad disminuyendo en el tiempo. Al utilizar la gráfica de confiabilidad, para ubicar el tiempo medio entre falla se encuentra que para un MTBF de 430 horas, la confiabilidad corresponde a 20% y una probabilidad de falla de 80%.

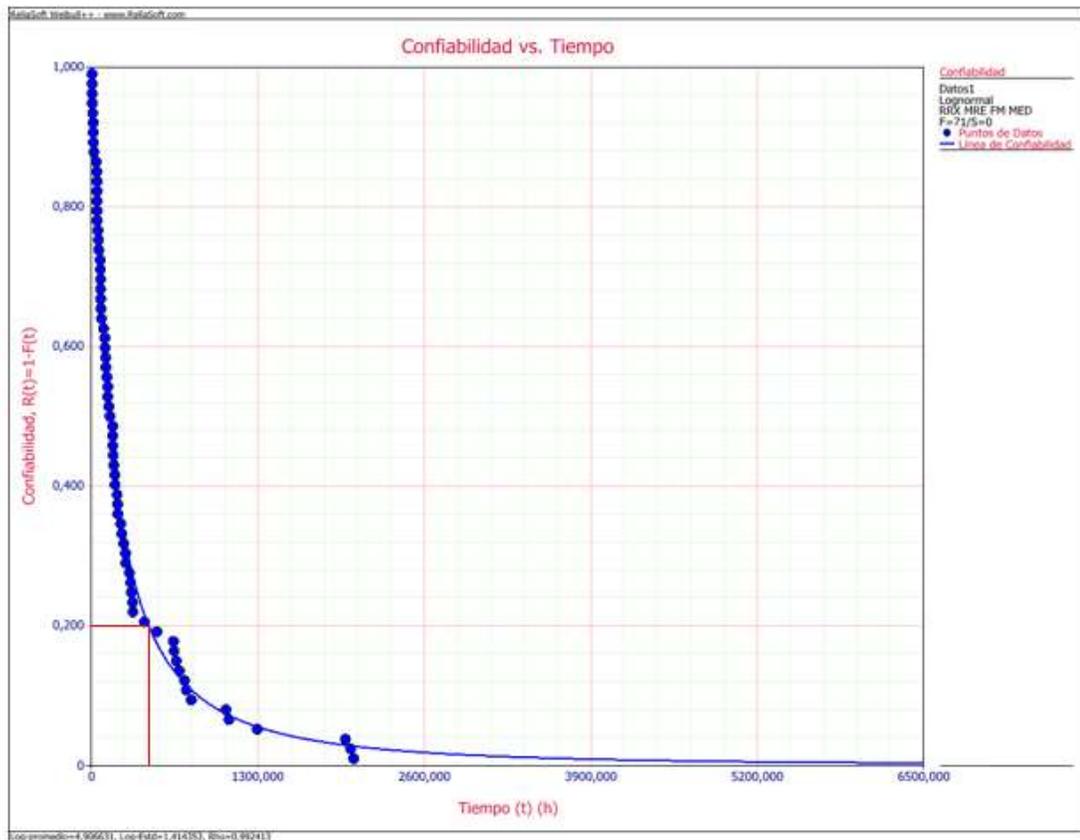


Figura 30. Confiabilidad vs tiempo. Equipo S-9202_03B

En la Figura 31 se presenta la tasa de falla vs el tiempo, indicando según la curva de Davies que para el MTBF igual 430 horas este equipo se encuentra en fase de rodaje, a pesar de estar operando hace aproximadamente 20 años, indicando montajes inadecuados o mantenimientos incorrectos de acuerdo al autor Alberto Mora [9].

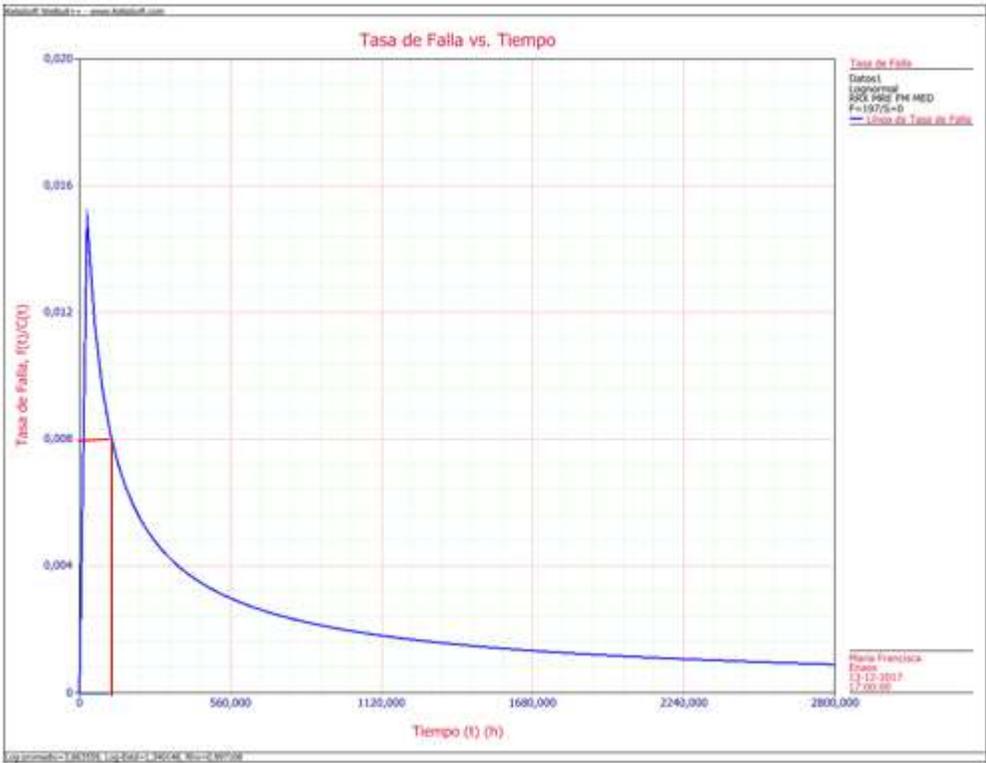


Figura 31. Tasa de falla vs el tiempo. Equipo S-9202_03B

8.2 Determinación de modos de falla

Utilizando la información de fallas de estos equipos de todo el periodo de estudio es posible determinar los Modos de Falla de los equipos de acuerdo al Estándar ISO 14224-16 y los componentes de estos equipos que se encuentran más afectados. Permitiendo visualizar realmente cuales son los focos de fallas, y recomendar modificaciones a los mantenimientos actuales de estos equipos en torno a estos resultados.

8.2.1 Máquina Ensacadora 3640-11

En la Tabla 26 se presentan los modos de fallas de la máquina ensacadora. Encontrándose que los principales componentes afectados corresponden a:

- Calefactores presentando fallas de tipo estructural, y de funcionamiento incorrecto.
- Cuchillos: presentan fallas estructurales.
- Pinzas: las que presentan principalmente fallas de servicio menores, como desalineamiento.

Tabla 26. Modos de falla Equipo 3640-11

Componente	Modo de Falla							Total general
	ELP	FTI	HIO	OTH	SER	STD	UNK	
Calefactor		13	5		9	11	4	42
Cuchillo					2	23		25
Pinzas	1	2		3	10	1	2	19
Ventosas		4			3	4	3	14
Sensor		1		4	3			8
Conector	1					4		5
Mordazas							5	5
Piston		1			2			3
Cadena						1		1
Motor			1					1
Sensor Salida					1			1
Válvula						1		1

8.2.2 Bomba P-6857A

Los modos de falla se presentan en la Tabla 27 siendo los más recurrentes:

- Fallas en sus sellos, presentando fugas y deficiencias estructurales
- Fallas estructurales en su fuelle

Tabla 27. Modos de Falla Equipo P-6857A

Componente	Modo de falla											Total general
	ELP	ELU	FTI	HIO	LOO	NOI	SER	SPO	STD	UNK	UST	
Sello	3								2			5
Fuelle									2	1		3
Filtro							2					2
Machon de acople					1				1			2
Placa orificio	1						1					2
Reten	1	1										2
Válvula								1		1		2
Disco ruptura				1								1
Eje								1				1
Engranaje						1						1
Estator	1											1
Motoreductor						1						1
Reductor						1						1
Rodamiento						1						1

8.2.3 Secador S-9202_03B

Al analizar la información de la Tabla 28 se encuentra que la bomba falla de la siguiente manera:

- Fugas de producto debido a pernos sueltos en el tambor
- Dificultades para utilizar la base movable
- Ruidos y fallas en la operación del conjunto piñón-corona
- Fallas para operar y estructurales en los descansos del secador
- Fallas de carácter desconocido en los sellos

Tabla 28. Modos de falla equipo S-9202_03B

Componente	Modo de falla											Total general
	ELP	FTI	INL	NOI	OHE	OTH	SER	STD	UNK	UST	VIB	
Perno	2	1		1		1	1	1	1			8
Base		1					2		1			4
Corona-piñon		2		2								4
Descanso		2		1				1				4
Sello								2	2			4
Aleta							1	2				3
Polin					1			1				2
Corona				1							1	2
Polin		1					1					2
Rodillo radial		1						1				2
Empaquetadura								1				1
Correa de transmisión		1										1
Llanta										1		1
Motor									1			1
Reten de aceite			1									1
Rodamiento								1				1
Rodillo piñon								1				1
Soporte								1				1
Zapata		1										1

Con los modos de falla obtenidos y sus partes afectadas se procede a realizar recomendaciones en los planes de mantenimiento actuales de estos equipos

8.3 Planes de mantenimiento actuales y mejoras

Actualmente la bomba P-6857A y la maquina ensacadora 3640-11 no poseen planes de mantenimiento. Es por esto que tomando como base los tiempos para fallar y los modos de falla de cada equipo, y planes de mantenimiento de equipos de la misma clase se crean planes de mantenimiento para los equipos que no lo poseen y mejoras al plan mantenimiento del secador S-9202_03B.

8.3.1 Máquina ensacadora 3640-11

Esta máquina se encuentra operando en un galpón con alta presencia de humedad (alrededor del 85%) lo cual no es óptimo ya que esta máquina está compuesta por una gran cantidad de componentes eléctricos y mecánicos.

Evaluando que tiene un MTBF muy bajo 5 días y que opera de manera intermitente dependiendo de la demanda de producto es factible realizar mantenimientos de manera recurrente.

Debido a la humedad es conveniente realizar una inspección por lo menos mensual de todos los conectores eléctricos presentes al interior de la máquina, buscando señales de sulfatación. De igual manera los componentes mecánicos deben ser inspeccionados tales como calefactores y cuchillos que presentan fallas estructurales, de manera de garantizar su cambio o reparación mientras la máquina se encuentra inoperativa.

Después de cada turno de trabajo, debería ser revisado el correcto funcionamiento de la máquina, poniendo especial atención al funcionamiento de pinzas y ventosas.

El plan de mantenimiento recomendado, se crea en base de a los modos de falla que presenta la máquina y su MTBF, como es la única máquina ensacadora en la Planta no existen mantenimientos a los cuales asociarla. Como esta máquina opera de manera intermitente durante la semana es posible realizar el mantenimiento con la frecuencia requerida. El mantenimiento propuesto se presenta en la Tabla 29:

Tabla 29. Plan de mantenimiento recomendado. Equipo 3640-11

Plan de mantenimiento	Frecuencia
Inspección o cambio de calefactores	4 días
Inspección o cambio de cuchillos	4 días
Inspección de pinzas	4 días
Inspección de ventosas	4 días

8.3.2 Bomba P-6857A

Esta bomba se encuentra operando dentro de un galpón, lo que la protege de la humedad de la costa. Trabaja de manera continua con un fluido de características peligrosas, por lo es de extrema peligrosidad que se encuentre operando sin un plan de mantenimiento.

Es necesario agregar este equipo a los planes de mantenimiento actuales de la Planta y al igual que otras bombas de la Planta debe contar al menos con un mantenimiento preventivo de lubricación de frecuencia mensual y plan de cambio de lubricante anual.

Ya que su MTBF es de 430,5 horas esta bomba debería ser inspeccionada por lo menos 2 veces al mes. En busca de ruidos o cualquier indicio posible de fallas.

Además, debido a que su tasa de fallas indica que se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera se requiere acciones modificativas en el mantenimiento actual que se le efectúa a este equipo y verificar la calidad de repuestos que se están instalando.

Debido a que tiene fugas por sus sellos es recomendable al realizar un mantenimiento preventivo, quitarla de la línea de producción y verificar el estado de sus sellos.

El plan de mantenimiento recomendado, tiene como base el mantenimiento realizado a otras bombas de su clase, y adicionalmente se incorpora mantenimientos de acuerdo a los modos de falla predominantes según su MTBF. Debido al modo de operación continuo de esta bomba, y que adicionalmente el Área 68 no tiene detenciones programadas es difícil realizar los mantenimientos con la frecuencia requerida.

El nuevo mantenimiento se presenta en la Tabla 30:

Tabla 30. Plan de mantenimiento recomendado. Equipo P-6857A

Plan de mantenimiento	Frecuencia
Lubricación	Mensual
Cambio de lubricante	Anual
Inspección visual	diario
Cambio de sellos	Bimensual
Inspección de fuelles	Bimensual

8.3.3 Secador S-9202_03B

Este Secador opera de manera continua, al interior de un galpón cerrado. Aunque trabaja en paralelo con otro secador igual, al detenerse uno por falla deben detenerse ambos, deteniendo por completo el Área 92, generando pérdidas de producción.

Debido a que su MTBF es de 430 horas este equipo debe ser mantenido dos veces al mes. Pero debido a su magnitud física y pérdidas de producción asociadas, hace difícil realizar mantenimiento en la frecuencia requerida.

Además de acuerdo a su tasa de falla, correspondiente a rodaje, indica malas prácticas de operación, por lo que se recomienda revisar el modo en que se encuentra operando hoy en día. Un hecho a destacar corresponde a que cuando el secador se detiene, ya sea por falla del mismo o necesidad del Área, este se inicia con producto en su interior, y además con su motor principal, a pesar que el secador posee un motor especial de partida indicado para cuando se encuentra detenido.

Este equipo posee un plan de mantenimiento ya establecido. El plan de mantenimiento asociado a este equipo se encuentra en la Tabla 31.

Tabla 31. Plan de mantenimiento actual Equipo S-9202_03B

Plan de mantenimiento	Frecuencia
Mantenimiento Predictivo de Inspección	Mensual
Mantenimiento Prev. Cambio Lubricante	Paro (Bianual)
Mantenimiento Preventivo a equipo	Paro (Bianual)
Mantenimiento Preventivo Backslash	Bimestral
Mantenimiento Toma de Muestra	Cuatrimestral
Mantenimiento Predictivo de Inspección	Paro (Bianual)
Mantenimiento Predictivo de Vibración	Mensual
Mantenimiento Predictivo medición Topográfica	Paro (Bianual)
Mantenimiento Predictivo de Inspección	Paro (Bianual)
Mantenimiento Predictivo de Vibración	Mensual
Mantenimiento Predictivo medición Topográfica	Paro (Bianual)

Observando sus modos de fallas y componentes afectados se encuentra que los mantenimientos realizados no atacan los focos principales de falla. Aunque su MTBF es de 17 días aproximadamente, este secador no se puede detenerse a menos que sea en Paro de Planta (cada 6 meses), o por una falla grave. Por lo que los mantenimientos a recomendar deben ser realizados solo en estos periodos.

El plan de mantenimiento recomendado se presenta en la Tabla 32:

Tabla 32. Plan de mantenimiento recomendado. Equipo S-9202_03B

Plan de mantenimiento	Frecuencia
Ajuste de todos los pernos del tambor secador	Paro (Bianual)
Medición del desgaste del conjunto piñón-corona	Paro (Bianual)
Revisión desgaste secadores radiales y axiales secador	Paro (Bianual)
Revisión de los sellos de entrada y salida de producto	Mensual

CONCLUSIONES

Este trabajo se realiza en Planta Prillex América, donde se enfrenta el desafío de la creación de una base de datos que sistematizara la información de fallas y mantenimientos existentes de acuerdo a los requerimientos del estándar ISO 14224-16.

Para esto se realiza un levantamiento de la información presente en los tres sistemas: SAP, SIRI y Tronador durante un periodo de 2 años. Estos tres sistemas funcionan de manera independiente, por lo que primeramente se analiza la información de cada uno, encontrando falencias en cada uno de ellos. En SAP en la transacción IW03 se evidencia que solo un 42,8% de los equipos poseen planes de mantenimiento. En las transacciones IW28, IW38 e IW47 los usuarios que cargan la información no la redactan como es necesario provocando vacíos de información y dificultado la recolección de esta. Se detecta también que en el Sistema Tronador las detenciones de Áreas no están asociadas a un equipo generando pérdidas de información.

Con la información recopilada se crea la Base de Datos de acuerdo al estándar, la cual requiere información de identificación, fallas y mantenimientos de los equipos. Esta base sistematiza la información actual y permite a futuro llevar una buena política de recopilación de datos que permita gestionar la información posteriormente.

Mediante criterios de jerarquización tales como: frecuencia de fallas, flexibilidad operacional, impactos operacionales, impactos en la seguridad, higiene y medioambientales, e impactos en los costos de mantenimiento; se evalúan los equipos del estudio que registran fallas durante el año 2017, de manera de detectar los equipos críticos actualmente. Fueron evaluados 111 equipos, correspondiendo un 1% a equipos críticos y un 23% a equipos de mediana criticidad.

Para el estudio de confiabilidad se seleccionan tres equipos por interés de la empresa, correspondientes a una máquina ensadora 3640-11, una bomba de emulsiones P-6857A y un secador de prill S-9202_03B. El tiempo de funcionamiento entre fallas de los equipos son analizados mediante el software Weibull ++, obteniendo sus graficas de

confiabilidad, probabilidad de falla y tasa de falla respecto al tiempo. Con estos datos se ubicaron a los equipos en la etapa de la curva de la bañera en que se encontraban.

Se presentan los modos de falla de acuerdo al estándar ISO14224-16 que presentaban los equipos, permitiendo encontrar los principales malos actores de cada equipo.

Los equipos P-6857A y 3640-11 no poseen actualmente planes de mantenimiento, por lo que basado en los planes de equipos similares y los modos de falla se realiza un plan de mantenimiento recomendado para estos equipos.

En el caso del equipo S-9202_03B que ya poseía un plan de mantenimiento preventivo y predictivo, se le recomendaron nuevas actividades a su plan de mantenimiento de manera de atacar sus modos de falla principales.

Finalmente es importante definir procedimientos y estándares de llenado de datos de fallas y mantenimientos en los distintos sistemas, de manera de poder gestionar esta información posteriormente y tomar decisiones fundamentadas en datos. Se recomienda crear un sistema adicional en línea con la información solicitada por la Base de Datos de manera que pueda ser utilizada por cualquier persona en la Planta y esté disponible en todo momento.

También, es muy importante que se realice un levantamiento en terreno de todos los equipos en Planta y cargarlo en el sistema SAP, para posteriormente actualizar los planes de mantenimiento con las necesidades de cada equipo, detectadas en los datos de fallas que se presentan en la Base de Datos realizada.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Enaex (2017). *Compañía*. Recuperado de: <http://www.enaex.com/company/estructura-propiedad/>
- [2] Enaex (2017) *Plantas Productoras*. Recuperado de: <http://www.enaex.com/Plantas/Plantas-productoras/>
- [3] Enaex (2016). *Memoria anual 2016*. Recuperado de: <http://enaexwebeng.azurewebsites.net/wp-content/uploads/2015/07/Memoria-2016.pdf>
- [4] Enaex (2017). *Filosofía*. Recuperado de: <https://www.enaex.com/company/filosofia/>
- [5] Google Maps. Recuperado de: <https://www.google.cl/maps/place/Enaex/@-23.4241425,70.4046035,388642m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1senaex+m ejillones!3m4!1s0x96b1e2a716208eb3:0xb91ff29bde10b5fd!8m2!3d-23.0954804!4d-70.4332554>
- [6] SMI (2017). *Organigrama interno SMI*
- [7] EUROPEAN STANDARD (2016). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and Exchange of reliability and maintenance data for equipment (ISO14224:2016)*. BSI Standars Publication
- [8] Presentación interna de la Planta.
- [9] Mora Gutiérrez, A. (2009). *MANTENIMIENTO planeación, ejecución y control*. (1ra. ed.). México: Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V., México.
- [10] Arata, A. (2009). *INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN PLANTAS INDUSTRIALES* Aplicación de la Plataforma R-MES.(1ra. Ed.).Chile: RIL® editores
- [11] Parra Marquez. C y Crespo Marquez. A (2012). Capítulo 5: *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Recuperado de <http://www.confiableoperacional.com/files/1357856285Cap-1-2-Libro-Parra-Crespo-V-Julio-2012.pdf>

[12] ReliaSoft (2016). *Weibull++/ Alta versión 10 User's Guide*. ReliaSoft Publishing. Recuperado de:

http://www.synthesisplatform.net/WeibullALTA/en/UG_WeibullALTA10.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Áreas de cada PANNA

Sector	Área	Descripción
PANNA 1 y 2	11	Planta de ácido nítrico PAN1
	12	Planta de ácido nítrico PAN2
	13	Calderas/Desaireador PAN1 y PAN2
	21	Planta nitrato Gral. Área húmeda
	22	Planta nitrato Gral. Área seca
PANNA 3	60	Sala de control PANNA 3
	61	CCM y sala de instrumentación
	81	Planta de ácido nítrico
	91	Planta de nitrato de amonio área Húmeda
	92	Planta de nitrato de amonio área seca
	93	Sistema de empaque, granel y sacos
PANNA 4	43	Red contra incendio
	44	Sala de control CCM
	45	Planta ácido nítrico
	46	Planta nitrato de amonio área húmeda
	47	Planta nitrato de amonio área seca
	48	Sistema de empaque, granel y sacos
OSBL 1 y 2	31	Captación agua de mar, PANNA1
OSBL 3-4	52_PANNA3	Sistema de captación de agua de mar
	55	Sala eléctrica PANNA3

	73_PANNA3	Sistema de cooling water de PANNA3
	75	Sistema de Agua de Incendio PANNA 3
	52_PANNA4	Sistema de captación de agua de mar
	73_PANNA4	Sistema de cooling water de PANNA4
OSBL Integrales	33	Laboratorio de control de procesos
	34	Casa de fuerza PANNA1
	50	Terminal marítimo y descarga de buques
	51	Almacenamiento amoniaco
	54	Almacenamiento ácido nítrico
	57	Sistema de almacenamiento solución nitrato
	58	Sistema de almacenamiento de petróleo
	59	Planta de aire de instrumentación y servicio
	70	Planta de tratamiento de agua y unidad CDI
	72	Sist-Pozo de neutralización/Piscina evap.
	74	Sistema agua residual sanitario/agua riego
	76	Planta estanque propano
	77	Agua de servicio
	78	Agua potable y Planta de osmosis
	79	Agua de procesos
	99	Sala elec princip-Postación-Patio 110kv
	EPAGAT	Calentador de cera móvil
Explosivos	23	Sistema de empaque a granel y sacos PNA1
	40	Canchas de almacenamiento nitrato Planta
	41	Sistema de empaque granel y sacos PNA4

	68	Planta matrices
	97	Planta PANFO
Común Prillex	1	Vigilancia puertas 1 y 2
	3	Edificios oficinas administrativas
	4	Casino y sala de cambio
	5	Bodegas
	6	Talleres de mantenimiento y contratista
	36	Sistema de alumbrado emergencia PANNA1
	37	Sistema de alumbrado emergencia PANNA3
	42	Laboratorio de control de calidad
	56	Sistema de vapor PANNA 1
	63	Sistema contra incendio PANNA 3
	65	Sala control PANNA 1
	66	CCM y sala instrumentación PANNA1 y 2
	Salas Eléctricas	Salas eléctricas Prillex
	U-0101	A/A industrial portátil

Anexo 2: Modos de falla equipos mecánicos y rotatorios

Código	Descripción del Modo de falla	Ejemplos
AIR	Lectura anormal de los instrumentos	Falsa alarma, indicación errónea en instrumento
BRD	Breakdown (avería)	Daños graves (rotura)
ELF	Fuga externa-combustible	Fuga externa de suministro de combustible o gas
ELP	Fuga externa -medio de proceso	Aceite, gas, condensado, agua.
ELU	Fuga externa- medio de utilidad	Lubricante, aceite de enfriamiento
ERO	Producción errática	Oscilación, variación, inestabilidad
FTC	Falla para cerrar en demanda	No cierra bajo demanda
FTO	Falla en abrir bajo demanda	No abre bajo demanda, bloqueo en posición cerrada o no abre completamente
FTI	Falla para funcionar como se pretende	Falla operacional general
HIO	Alto rendimiento	Exceso de velocidad/producción sobre el nivel aceptado
IHT	Falta o baja transferencia de calor	Falta o baja transferencia de calor
		Enfriamiento o calentamiento bajo aceptación
INL	Fuga interna	Fuga interna de fluidos de proceso o suministro
LCP	Fuga en posición cerrada	Fuga a través de la válvula en posición cerrada
LOO	Bajo producción	Rendimiento, producción menor del nivel aceptado
NOI	Ruido	Ruido anormal o excesivo
OHE	Sobrecalentamiento	Sobrecalentamiento
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertos anteriormente

PDE	Desviación de parámetro	Paramento monitoreado excede los limites
PLU	Atascado/ahogado	Restricción de flujo debido a contaminación, objetos, cera, etc
SBU	Acumulación de lodo	Acumulación de lodo
SER	Problemas de servicio menores	Ítems sueltos, descoloración, suciedad
SLP	Deslizamiento	Deslizamiento
SPO	Operación de espuria	Operación inesperada
STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fracturas, corrosión)
STP	Falla en detención bajo demanda	No se detiene durante demanda
UNK	desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla.
UST	Parada errónea	Parada inesperada
VIB	Vibración	Vibración anormal

Anexo 3: Listado de equipos mecánicos incluidos en el estudio

PANNA	Área	Descripción	TAG
1 y 2	11	Planta de Ácido Nítrico	2601-01
			2690-01A
			2690-01B
			3601-02
			3601-03
			3601-04
			3601-05
	3601-16		
	21	Planta de Solución de Nitrato de Amonio	1120
			3521A
			3522B
			3525A
	22	Planta Nitrato de Amonio (Prill)	3234
			4230
			4235
4236			
4237			
4430			
3	81	Planta de Ácido Nítrico	B-8101
			D-8105
			E-8105
			E-8114
			F-8104
			M-8101
			R-8101
			D-8106
	91	Planta de Solución de Nitrato de Amonio	P-9101A
			R-9101
	92	Planta Nitrato de Amonio (Prill)	C-9201
			D-9212
			E-9203A
			E-9203B
			H-9201A
			H-9201B

			H-9202A
			H-9202B
			H-9205
			H-9206
			H-9207
			H-9211
			K-9204A
			K-9204B
			N-9207
			P-9205A
			P-9205B
			P-9206A
			P-9206B
			P-9207
			P-9218
			S-9201
			S-9202_03A
			S-9202_03B
			S-9205
	93	Sistema de empaque, granel y sacos	E-9301
			H-9301
			H-9313B
			S-9301
4	45	Planta de Ácido Nítrico	C-4501
			D-4505
			E-4501
			E-4513
			K-4502
			K-4505
	46	Planta de Solución de Nitrato de Amonio	P-4601A
			R-4601
			P-4607B
	47	Planta Nitrato de Amonio (Prill)	C-4701
			E-4703A
			H-4701A
			H-4701B
			H-4706
			H-4708B
			K-4703A
			K-4703B

			K-4705	
			P-4607B	
			S-4701	
			S-4702_03A	
			S-4702_03B	
			S-4704	
	48	Sistema de empaque, granel y sacos	H-4801	
OSBL 1 y 2	31	Captación agua de mar, PANNA1	3560E	
OSBL 3-4	52_PANNA3	Sistema de captación de agua de mar	F-5201	
	73_PANNA4	Sistema de cooling water de panna4	E-7341A	
	75	Sistema de Agua de Incendio PANNA 3	P-7501 P-7502 P-7503	
OSBL Integrales	51	Almacenamiento Amoníaco	2650-03	
			2650-04A	
			2650-04B	
	54	Almacenamiento Ácido Nítrico	K-5401	
			P-5402A	
			P-5402B	
			P-5403	
			P-5441	
				P-5441B
	57	Sistema de Almacenamiento Solución Nitrato	T-5702	
59	Planta de aire de instrumentación y servicio	K-5901A		
		K-5901B		
70	Planta de tratamiento de agua y unidad CDI	2670-06D		
76	Planta de Estanque Propano	P-7603		
77	Agua de servicio	P-7604		
		P-7701A		
Explosivos	23	Sistema de empaque a granel y sacos PNA1	3640-11	
			3640-13	
			3640-14	
			4240B	

			E-6858A
			H-6804
			H-6867
			N-6857B
			P-6810B
			P-6813A
			P-6819B
			P-6855C
			P-6855F
			P-6857A
			P-6857B
			P-6864B
			P-6864C
			P-6867A
			P-6867B
			P-6869
			R-6857B
			T-6803A
			T-6804A
			T-6809
			T-6855
			T-6864A
			T-6864B
			T-6867
	68	Planta Emulsiones	B-9701
			S-9728
	97	Planta PANFO	

Anexo 4: Evaluación criticidad equipos

TAG Equipo	FF	IO	FO	CM	SHA	C	CTR	Nivel de Criticidad
3640-11	4	8	3	2	4	30	120	C
H-9205	4	8	3	1	4	29	116	MC
S-9301	4	4	3	2	4	18	72	MC
H-4801	4	4	3	1	4	17	68	MC
P-6864C	4	1	1	2	6	9	36	MC
H-9313B	4	1	1	1	4	6	24	MC
P-6857A	3	8	1	2	6	16	48	MC
H-9201B	3	8	1	2	4	14	42	MC
4237	3	4	2	1	4	13	39	MC
H-4701B	3	8	1	1	4	13	39	MC
E-8105	3	1	4	2	6	12	36	MC
T-6867	3	1	3	2	6	11	33	MC
T-6803A	3	1	1	2	6	9	27	MC
H-4701A	3	4	1	1	4	9	27	MC
H-9201A	3	1	1	1	4	6	18	MC
H-9202B	3	1	1	1	4	6	18	MC
S-9201	2	8	3	2	4	30	60	MC
S-9202_03A	2	8	3	1	4	29	58	MC
S-9202_03B	2	8	3	1	4	29	58	MC
R-9101	2	4	4	2	6	24	48	MC
B-8101	2	4	4	1	6	23	46	MC
1120	2	4	4	1	4	21	42	MC
K-9204A	2	8	2	1	4	21	42	MC
R-8101	1	8	4	1	6	39	39	MC
F-8104	1	8	3	2	6	32	32	MC
P-6869	1	8	3	1	6	31	31	MC
R-8101/02	1	8	3	1	6	31	31	MC
T-6855	2	4	3	1	6	19	38	NC
S-9205	2	4	3	2	4	18	36	NC
P-7501	2	4	3	1	4	17	34	NC
P-7502	2	4	3	1	4	17	34	NC
P-9207	2	4	3	1	4	17	34	NC
K-5401	2	4	3	1	4	17	34	NC
H-9206	2	4	3	1	4	17	34	NC

H-9207	2	4	3	1	4	17	34	NC
H-9211	2	4	3	1	4	17	34	NC
P-6864A	2	8	1	2	6	16	32	NC
D-8105	2	4	2	1	6	15	30	NC
2650-03	2	4	2	1	4	13	26	NC
E-8114	2	1	4	2	6	12	24	NC
2690-01A	2	1	4	1	4	9	18	NC
E-9203A	2	4	1	1	4	9	18	NC
4230	2	4	1	1	4	9	18	NC
E-4703A	2	1	2	2	4	8	16	NC
E-7341A	2	1	2	2	4	8	16	NC
T-6864A	2	1	1	1	6	8	16	NC
2650-04A	2	1	2	1	4	7	14	NC
2650-04B	2	1	2	1	4	7	14	NC
P-5441B	2	1	1	1	4	6	12	NC
P-7701A	2	1	1	1	4	6	12	NC
P-5402A	2	1	1	1	4	6	12	NC
S-4704	1	8	3	1	4	29	29	NC
H-4706	1	8	3	1	4	29	29	NC
R-4601	1	4	4	2	6	24	24	NC
K-4502	1	4	4	1	6	23	23	NC
K-4505	1	4	4	1	6	23	23	NC
E-6856	1	4	4	1	6	23	23	NC
M-8101	1	4	4	1	6	23	23	NC
K-9204B	1	8	2	2	4	22	22	NC
H-6867	1	4	3	1	6	19	19	NC
H-6804	1	4	3	1	6	19	19	NC
T-6809	1	4	3	1	6	19	19	NC
C-4501	1	4	3	1	6	19	19	NC
3601-03	1	4	3	2	4	18	18	NC
P-7603	1	4	3	1	4	17	17	NC
P-7603-04	1	4	3	1	4	17	17	NC
P-7604	1	4	3	1	4	17	17	NC
P-5403	1	4	3	1	4	17	17	NC
T-4701	1	4	3	1	4	17	17	NC
4430	1	4	3	1	4	17	17	NC
S-4701	1	4	3	1	4	17	17	NC
C-4701	1	4	3	1	4	17	17	NC
H-9301	1	4	3	1	4	17	17	NC
P-6819B	1	8	1	2	6	16	16	NC

P-6857B	1	8	1	2	6	16	16	NC
K-4705	1	8	1	2	4	14	14	NC
3601-04	1	4	2	1	4	13	13	NC
4235	1	4	2	1	4	13	13	NC
P-9206A	1	8	1	1	4	13	13	NC
P-9206B	1	8	1	1	4	13	13	NC
T-6864B	1	1	3	2	6	11	11	NC
E-6858A	1	1	2	2	6	10	10	NC
R-6857B	1	1	3	1	6	10	10	NC
P-4601A	1	1	1	2	6	9	9	NC
3640-14	1	4	1	1	4	9	9	NC
E-9203B	1	4	1	1	4	9	9	NC
D-9212	1	4	1	1	4	9	9	NC
3525A	1	1	3	1	4	8	8	NC
3522B	1	1	3	1	4	8	8	NC
4240B	1	1	3	1	4	8	8	NC
2670-06D	1	1	3	1	4	8	8	NC
S-4702_03A	1	1	3	1	4	8	8	NC
S-4702_03B	1	1	3	1	4	8	8	NC
H-4705	1	1	3	1	4	8	8	NC
N-6857B	1	1	1	1	6	8	8	NC
P-9101A	1	1	1	1	6	8	8	NC
P-6810B	1	1	1	1	6	8	8	NC
P-6855C	1	1	1	1	6	8	8	NC
P-4607B	1	1	1	1	6	8	8	NC
P-9205A	1	1	1	2	4	7	7	NC
E-9301	1	1	2	1	4	7	7	NC
K-5901A	1	1	2	1	4	7	7	NC
K-5901B	1	1	2	1	4	7	7	NC
P-5402B	1	1	1	1	4	6	6	NC
P-9205B	1	1	1	1	4	6	6	NC
P-9207A	1	1	1	1	4	6	6	NC
P-7503A	1	1	1	1	4	6	6	NC
3560E	1	1	1	1	4	6	6	NC
3521A	1	1	1	1	4	6	6	NC
H-4708B	1	1	1	1	4	6	6	NC
H-9202A	1	1	1	1	4	6	6	NC