



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## [Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



**N° 115-2024**

## **CONSTANCIA**

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud del Trabajo de Suficiencia Profesional cuyo título es:

**“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA AUMENTAR LA  
CONFIABILIDAD EN LA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR DE  
LA EMPRESA MINERA SHOUGANG HIERRO PERÚ S.A.A”**

Presentado por:

**MARCOS PACHECO, JOAQUIN JOEL**

**BACHILLER** de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de TRES POR CIENTO (3%), por el cual se le otorga el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 18 de Junio del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
  
Dr. José Luis Donayre Pasáche  
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA



PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA AUMENTAR LA  
CONFIABILIDAD EN LA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA  
DE MAR DE LA EMPRESA MINERA SHOUGANG HIERRO PERÚ  
S.A.A

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**PRESENTADO POR:**

BACH. MARCOS PACHECO JOAQUIN JOEL

**ASESOR:**

MAG. JORGE DANTE ESCUDERO FLORES

ICA - PERÚ

2024

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermana quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia.

También a mi enamorada Hilary con su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a cada ingeniero de la facultad de ingeniería mecánica y eléctrica de la universidad San Luis Gonzaga de Ica que formó parte de este proceso integral de formación y poder convertirme en un profesional en lo que me apasiona, también agradezco a la universidad por permitirme tener tan buena experiencia dentro su casa de estudios lo que deja como producto terminado a este grupo de graduados como recuerdo y prueba viviente en la historia; este trabajo de suficiencia profesional, perdurara dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

A mi familia, quienes me apoyaron a lo largo de mi vida universitaria el cual estoy muy agradecido por ello.

Finalmente agradezco a quien lee este apartado, por permitir a mis experiencias, investigaciones y conocimiento, incurrir dentro de su repertorio de información mental.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	III
INDICE DE TABLAS .....	IV
INDICE DE FIGURAS .....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT .....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: INFORMACIÓN DE LA INSTITUCIÓN DONDE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA .....	2
CAPÍTULO II: TRAYECTORIA PROFESIONAL.....	4
CAPÍTULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL .....	5
CAPÍTULO IV: APORTES A LA INSTITUCIÓN.....	24
CONCLUSIONES.....	39
RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	41
ANEXOS .....	42

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA I</b>	<b>Costo de produccion.....</b>	<b>6</b>
<b>TABLA II</b>	<b>Costo de perdidas .....</b>	<b>6</b>
<b>TABLA III</b>	<b>Calificacion de causas .....</b>	<b>10</b>
<b>TABLA IV</b>	<b>Ponderación total de causas .....</b>	<b>11</b>
<b>TABLA V</b>	<b>Ponderación Pareto de las causas .....</b>	<b>11</b>
<b>TABLA VI</b>	<b>Tabla de criticidad de los equipos.....</b>	<b>14</b>
<b>TABLA VII</b>	<b>Horas laborables de bomba de alta presión.....</b>	<b>15</b>
<b>TABLA VIII</b>	<b>Horas laborables de bomba de refuerzo.....</b>	<b>16</b>
<b>TABLA IX</b>	<b>Horas laborables de bomba superalimentadora.....</b>	<b>17</b>
<b>TABLA X</b>	<b>Horas laborables de bomba de captación.....</b>	<b>18</b>
<b>TABLA XI</b>	<b>Fallo funcional, modo de falla y efecto de falla de las máquinas.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA XII</b>	<b>Diagrama de decisión RCM .....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA XIII</b>	<b>Bomba de alta presión.....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA XIV</b>	<b>Bomba de refuerzo .....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA XV</b>	<b>Inspecciones deficientes del área.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA XVI</b>	<b>Mantenimiento de la bomba de alta presión.....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA XVII</b>	<b>Mantenimiento de la bomba de refuerzo .....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA XVIII</b>	<b>Mantenimiento del motor del reductor de velocidad .....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA XIX</b>	<b>Mantenimiento del reductor de velocidad.....</b>	<b>26</b>
<b>TABLA XX</b>	<b>Mantenimiento de bomba superalimentadora.....</b>	<b>26</b>
<b>TABLA XXI</b>	<b>Mantenimiento de bomba de captación.....</b>	<b>27</b>
<b>TABLA XXII</b>	<b>Mantenimiento de válvula electroneumática .....</b>	<b>27</b>
<b>TABLA XXIII</b>	<b>Mantenimiento de válvula manual .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA XXIV</b>	<b>Horas laborables de la bomba de alta presión.....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA XXV</b>	<b>Horas laborables de bomba de refuerzo.....</b>	<b>30</b>
<b>TABLA XXVI</b>	<b>Horas laborables de bomba superalimentadora.....</b>	<b>31</b>
<b>TABLA XXVII</b>	<b>Horas laborables de bomba de captación.....</b>	<b>32</b>
<b>TABLA XXVIII</b>	<b>Cronograma de capacitación.....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA XXIX</b>	<b>Costo de capacitación .....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA XXX</b>	<b>Gastos anuales de la implementación 1 .....</b>	<b>35</b>
<b>TABLA XXXI</b>	<b>Gastos anuales de la implementación 2 .....</b>	<b>35</b>
<b>TABLA XXXII</b>	<b>Depreciación de la implementación .....</b>	<b>36</b>
<b>TABLA XXXIII</b>	<b>Presupuesto de inversión para protección de maquinarias.....</b>	<b>36</b>
<b>TABLA XXXIV</b>	<b>Resumen de costos de presupuestas.....</b>	<b>36</b>
<b>TABLA XXXV</b>	<b>Beneficios.....</b>	<b>37</b>
<b>TABLA XXXVI</b>	<b>Resumen de beneficios de las propuestas .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLA XXXVII</b>	<b>Gastos administrativos .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLA XXXVIII</b>	<b>Estado de resultados 1.....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA XXXIX</b>	<b>Estado de resultados 2.....</b>	<b>38</b>

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Plano de planta desalinizadora de agua de mar.....	7
Fig. 2	Diagrama de flujo planta desalinizadora de agua de mar.....	7
Fig. 3	Vista aérea de planta desalinizadora de agua de mar.....	8
Fig. 4	Área de filtros de arena .....	8
Fig. 5	Área de osmosis inversa.....	8
Fig. 6	Área de ultrafiltración .....	8
Fig. 7	Diagrama del proceso de la planta desalinizadora.....	9
Fig. 8	Planta desalinizadora sistema scada 1.....	9
Fig. 9	Planta desalinizadora sistema scada 2.....	9
Fig. 10	Diagrama de Ishikawa .....	10
Fig. 11	Diagrama de Pareto .....	11
Fig. 12	Matriz de criticidad [5].....	12
Fig. 13	Criterio para la frecuencia [5].....	12
Fig. 14	Criterio para las consecuencias [5] .....	13
Fig. 15	Matriz de resultados [5].....	13
Fig. 16	Disponibilidad inicial de la bomba de alta presión .....	15
Fig. 17	MTBF inicial de la bomba de alta presión.....	15
Fig. 18	MTTR inicial de la bomba de alta presión.....	15
Fig. 19	Confiabilidad inicial de la bomba de alta presión .....	16
Fig. 20	Disponibilidad inicial bomba de refuerzo .....	16
Fig. 21	MTBF inicial bomba de refuerzo.....	16
Fig. 22	MTTR inicial bomba de refuerzo .....	17
Fig. 23	Confiabilidad inicial bomba de refuerzo.....	17
Fig. 24	Disponibilidad inicial de bomba superalimentadora .....	17
Fig. 25	MTBF inicial de bomba superalimentadora.....	18
Fig. 26	MTTR inicial de bomba superalimentadora .....	18
Fig. 27	Confiabilidad inicial de bomba superalimentadora .....	18
Fig. 28	Disponibilidad inicial bomba de captación .....	19
Fig. 29	MTBF inicial bomba de captación.....	19
Fig. 30	MTTR inicial bomba de captación .....	19
Fig. 31	Confiabilidad inicial bomba de captación.....	19
Fig. 32	Diagrama de Decisión RCM.....	21
Fig. 33	Disponibilidad final de la bomba de alta presión .....	29
Fig. 34	MTBF final de la bomba de alta presión.....	29
Fig. 35	MTTR final de la bomba de alta presión .....	29
Fig. 36	Confiabilidad final de la bomba de alta presión.....	29
Fig. 37	Disponibilidad final bomba de refuerzo .....	30
Fig. 38	MTBF final bomba de refuerzo .....	30
Fig. 39	MTTR final bomba de refuerzo.....	30
Fig. 40	Confiabilidad final bomba de refuerzo .....	31
Fig. 41	Disponibilidad final bomba superalimentadora .....	31
Fig. 42	MTBF final bomba superalimentadora .....	31
Fig. 43	MTTR final bomba superalimentadora .....	32
Fig. 44	Confiabilidad final bomba superalimentadora .....	32
Fig. 45	Disponibilidad final bomba de captación.....	32
Fig. 46	MTBF final bomba de captación .....	33
Fig. 47	MTTR final bomba de captación.....	33
Fig. 48	Confiabilidad final bomba de captación .....	33

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad dar a conocer mi trayectoria profesional, la descripción de la empresa donde desarrollé mi experiencia laboral, la descripción de mi puesto de trabajo y mis funciones, el problema encontrado y la solución que le di a dicho problema el cual fue realizar un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la confiabilidad en la planta desalinizadora de agua de mar de la empresa minera Shougang Hierro Perú S.A.A con el fin de reducir la indisponibilidad de las máquinas ya que actualmente no contábamos con un buen plan de mantenimiento para la gestión de fallas de las máquinas, trayendo como consecuencia disminución en la producción, mayor tiempo de paro al momento de realizar el mantenimiento, por lo que la opción de un plan de mantenimiento óptimo permitirá, además de aumentar la producción, la conservación en óptimas condiciones de las máquinas, reflejándose en un aumento de periodo de vida de estos. La metodología para su finalidad fue de tipo aplicada, diseño experimental. Como resultado planteo diversas actividades de mantenimiento para cada máquina, logrando así un plan de mantenimiento de calidad, basado en las fallas funcionales y en cada componente, a su vez realice pruebas de disponibilidad basadas en el MTTR y MTBF, las cuales arrojaron que las máquinas tienen una alta indisponibilidad debido a sus fallas, a su vez utilicé el diagrama de Pareto con el fin de determinar su productividad para su posterior análisis en donde identifiqué que la confiabilidad actual de los equipos de la planta se encuentra en un nivel de alerta luego proyecté los nuevos indicadores de disponibilidad y confiabilidad de los equipos con la aplicación del plan de mantenimiento preventivo, dando como resultado que después de realizar la implementación del plan de mantenimiento se logró un aumento de la confiabilidad del 20.72%. Como conclusión, determiné que un plan óptimo de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM aporta un gran beneficio en la confiabilidad de los equipos de la planta.

**Palabras clave:** Metodología RCM, MTTR, MTBF y mantenimiento.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to present my professional career, the description of the company where I developed my work experience, the description of my job and my functions, the problem encountered and the solution I gave to said problem, which was carry out a preventive maintenance plan to increase reliability in the seawater desalination plant of the mining company Shougang Hierro Perú S.A.A in order to reduce the unavailability of the machines since we currently did not have a good maintenance plan for management of machine failures, resulting in a decrease in production, longer downtime when carrying out maintenance, so the option of an optimal maintenance plan will allow, in addition to increasing production, conservation in optimal conditions of machines, reflected in an increase in their life span. The methodology for its purpose was applied, experimental design. As a result, I propose various maintenance activities for each machine, thus achieving a quality maintenance plan, based on functional failures and in each component, at the same time perform availability tests based on the MTTR and MTBF, which showed that the machines has a high unavailability due to its failures, in turn I used the Pareto diagram in order to determine its productivity for subsequent analysis where I identified that the current reliability of the plant equipment is at an alert level then project the new indicators of availability and reliability of the equipment with the application of the preventive maintenance plan, resulting in an increase in reliability of 20.72% after implementing the maintenance plan. In conclusion, I determined that an optimal preventive maintenance plan based on the RCM methodology provides a great benefit in the reliability of the plant equipment.

**Key words:** RCM Methodology, MTTR, MTBF and maintenance.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se maneja distintos tipos de mantenimiento industrial como el correctivo, preventivo, predictivo en donde este último por ser muy costoso impide que las empresas puedan implementarlo.

Haciendo un buen uso de la información que obtuve, realizaré un plan de mantenimiento preventivo para la planta desalinizadora de agua de mar de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A con la finalidad de reducir paradas inesperadas que afecten en la producción. Al aplicarlo, asegurare un correcto funcionamiento de los equipos que conforman el sistema.

La planta está formada por 10 unidades de filtros de arena, 10 unidades de ultrafiltración, 13 unidades de osmosis inversa además cuentan con una gran cantidad de bombas hidráulicas, motores eléctricos, compresores de aire, secadores, válvulas manuales, válvulas con accionamiento eléctrico y neumático que son indispensables para el proceso y es por ello que se debe contar con un plan de mantenimiento.

Creare formatos para el control rutinario y temporal de los equipos antes mencionados, tomando como muestra el equipo que presente más fallas por cada tipo.

## **CAPÍTULO I: INFORMACIÓN DE LA INSTITUCIÓN DONDE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA**

Shougang Hierro Perú S.A.A se localiza en el distrito de Marcona, provincia de Nasca en la Región Ica. Se encuentra aproximadamente a 530 kilómetros de la ciudad de Lima. Es una empresa minera que se dedica a la extracción, procesamiento y venta de mineral de hierro. Su capacidad de producción es de 20 millones de toneladas de concentrados de hierro por año.

Su visión es alcanzar estándares de calidad, seguridad y protección ambiental óptimos en todos nuestros sistemas, procesos y productos. Buscamos ser reconocidos como una de las empresas mineras más competitivas en el mercado mundial del hierro, al mismo tiempo que nos enfocamos en el crecimiento y bienestar de nuestro equipo humano. Cumplir con la legislación vigente y los estándares internacionales es una prioridad para nosotros.

Su misión es ser una empresa proveedora de hierro que fomente la mejora continua a través de prácticas seguras, confiables y respetuosas con el medio ambiente en todos nuestros sistemas y procesos. Buscamos elevar el nivel de competitividad de toda nuestra organización, logrando así nuestros objetivos institucionales. Además, estamos comprometidos con contribuir al desarrollo socioeconómico de la región y el país.

Mina es el área que cuenta con una extensión de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>, es el lugar donde se llevan a cabo trabajos de exploración y explotación de minerales utilizando el método de tajo abierto. Se realizan perforaciones y explosiones para luego transportar las rocas mineralizadas mediante palas y camiones volquetes con capacidad de hasta 150 toneladas. Luego son llevadas a las chancadoras, donde son trituradas y luego apiladas. Posteriormente, el mineral es transportado a San Nicolás a través de una cinta transportadora de aproximadamente 15,3 kilómetros de longitud, con una capacidad de 2000 toneladas por hora.

San Nicolás es el área de beneficio, donde los minerales pasan por una serie de etapas hasta convertirse en productos comercializables. Las instalaciones que se encuentran en esta área son las siguientes:

Planta Chancadora: Aquí el mineral se reduce aproximadamente un 95%.

Planta de Separación Magnética: En esta etapa, el mineral continúa su proceso de molienda y concentración mediante ciclones, separación magnética y flotación. Esto permite separar el mineral estéril, que no se utiliza en el proceso productivo, del mineral de hierro.

Planta de Filtros: En esta etapa se llevan a cabo operaciones de espesamiento, homogeneización y filtrado de la pulpa.

Planta de Pélets: Aquí el mineral se somete a altas temperaturas para su transformación en pélets. Los pélets resultantes son luego almacenados y transferidos al muelle.

Muelle San Nicolás: Con una longitud aproximada de 330 metros, este muelle tiene la capacidad de recibir barcos de gran tonelaje debido a la profundidad de sus aguas. Además, cuenta con más de 8 certificaciones internacionales que brindan respaldo y seguridad a los clientes.

Planta Desalinizadora: La empresa cuenta con una planta desalinizadora de agua de mar con una capacidad de 1000m<sup>3</sup>/día y otra con una capacidad de 200m<sup>3</sup>/día.

En San Juan se ubica el campamento minero y las oficinas administrativas en una zona con una población de más de 16 mil habitantes. Estas instalaciones son responsables de controlar y supervisar el progreso adecuado de las operaciones, así como las relaciones con los trabajadores, la comunidad en general y las áreas de influencia. Además, la empresa cuenta con una sede descentralizada en la ciudad de Lima. Esta sede se encarga de llevar a cabo los trámites administrativos con las entidades gubernamentales pertinentes, así como de mantener contacto con clientes y proveedores.

## **CAPÍTULO II: TRAYECTORIA PROFESIONAL**

Para garantizar la necesidad de aumentar la producción de concentrado a 20 millones de toneladas/año, la empresa construyó una planta desalinizadora con la capacidad de 20000m<sup>3</sup>/día. Para ello, participe en la convocatoria que realizó la empresa en el año 2018 para poder incorporar personal para su proyecto de ampliación y fui seleccionado; este proyecto inicio en el año 2014 y en el 2018 empezó el comisionamiento. Luego de una serie de pruebas nos designaron áreas específicas para poder empezar nuestras capacitaciones y nos dividieron en grupos de 6 operadores por guardia, con un sistema de 6 x1(6 días laborando por 1 día de descanso)

He acumulado experiencia en el área de sala de control realizando las siguientes funciones: Inspecciono el área de trabajo informando a la supervisión toda condición subestándar que se encuentre con el fin de ser corregidas o controladas a la brevedad; inspecciono el sistema Scada (SIMATIC S7-400; SIEMENS) en donde se puede visualizar todos los parámetros de planta; coordino con el operador de campo para el encendido o apagado de equipos según necesidad ya sea para trabajos de mantenimiento o limpiezas químicas; verifico los niveles de distintos tanques como el de agua de mar, agua ultrafiltrada, agua producto y paquete 7; tomo parámetros donde verifico presión, frecuencia, corriente, caudal, conductividad, Ph, ORP y dosificación de químicos; realizo informes de producción; realizo vales de mantenimiento y químicos; coordino con planta antigua para el abastecimiento de sus tanques.

Adicionalmente con respecto a funciones ligadas con osmosis inversa realizo lo siguiente: superviso los trabajos del personal de mantenimiento mecánico y/o eléctrico; verifico el estado de válvulas manuales, neumáticas y proporcionales para continuar con el encendido; tomo parámetros de flujo y presión; verifico en el display de los variadores de velocidad la corriente y frecuencia de la bomba de alta y de refuerzo; monitoreo la vibración, temperatura y nivel de aceite de las bombas; realizo la calibración del sensor de conductividad y ph; monitoreo el ingreso de cloro a la unidad con el kit de medición de cloro, verifico que el recuperador de energía (ERI) trabaje en óptimas condiciones caso contrario le realizo su mantenimiento. En funciones ligadas a la limpieza química RO y UF realizo lo siguiente: habilito la unidad para que el personal de mantenimiento pueda ingresar de forma segura a colocar tapas ciegas, bridas ciegas y retirar la válvula check; habilito la unidad y empiezo el procedimiento de la empresa Pysein. Durante la limpieza, verifico parámetros como temperatura, conductividad, PH, flujo y presión.

El Propósito del puesto de operador y mantenimiento III me permitió desenvolverme profesionalmente; pude detectar y solucionar problemas en planta; realice informes para jefes inmediatos; supervise a empresas contratistas en la realización de trabajos eléctricos y mecánicos; propuse mejoras que no se tuvo en cuenta en el comisionamiento y tuve personal operativo a cargo donde les asigno trabajos diarios a realizar.

### **CAPÍTULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL**

Le propuse a mi jefe inmediato que deberíamos contar con un plan de mantenimiento para los equipos de la planta porque vi muchas deficiencias y de esa forma podríamos incrementar la confiabilidad de los equipos que es muy importante, es por ello que investigué lo siguiente:

A nivel internacional, Lundgren [1] indica que el mantenimiento de las máquinas es el problema más significativo. Debido a que cada máquina tiene diferentes características de fabricación, el tiempo de inactividad no programado es una ocurrencia común. Esto se debe a varios motivos, como el desgaste, que en muchos casos son difíciles de identificar.

Por otra parte, Correia [2] describe que, como partes críticas de los sistemas de fabricación, el desempeño oportuno del plan de mantenimiento es clave para reparar equipos defectuosos. Debido a que la mayoría de las tareas de mantenimiento requieren que la máquina esté apagada, solo se pueden realizar durante los turnos que no son de producción. Esto se debe a que las empresas que experimentan averías en las máquinas textiles no cuentan con políticas de mantenimiento adecuadas en Brasil.

A nivel nacional, Requena [3] analiza que, en las empresas, las máquinas experimentan con frecuencia fallas mecánicas. Esto incluye engranajes rotos, lectores de velocidad, correderas cruzadas automáticas, canales de lubricación y más. Debido a esto, las máquinas deben reemplazarse o repararse para que puedan continuar funcionando y produciendo durante los intervalos de tiempo asignados. Si una máquina deja de funcionar, la producción se retrasa durante días mientras se obtienen los reemplazos y se realizan las reparaciones.

Por otra parte, Herrera [4] observa que los costos de mantenimiento aumentan porque las máquinas deben dejar de funcionar. Esto hace que produzcan menos y aumentan los gastos de mantenimiento. Además, la productividad en todas las áreas analizadas se ve afectada por averías y ajustes. Esto se debe a que las máquinas necesitan un mantenimiento que no se realiza. Esto da como resultado una pérdida de productividad debido a retrasos en la entrega del producto, costos adicionales por reparaciones y piezas necesarias, etc.

Como dato adicional acerca de la empresa, la mayoría de sus áreas cuenta con mantenimiento correctivo, pues indican que es más efectivo y menos costoso realizarlo, es por ello que propongo la implementación de otro tipo de mantenimiento y poder aumentar la vida útil de la planta y reducir costos.

En mi área se ha puesto una empresa encargada para la realización de actividades de mantenimiento, dicha empresa no cuenta con un plan de mantenimiento elaborado que permita el mantenimiento en base a inspecciones periódicas. Esto ha hecho que la planta tenga fallas imprevistas, lo que ha ocasionado el paro de equipos y por lo tanto la baja producción.

**TABLA I**  
COSTO DE PRODUCCION

<b>Costo de perdidas</b>		
<b>Tiempo(h)</b>	<b>Cantidad (m3)</b>	<b>Precio (S/.)</b>
1	845	5577
24	20280	133848
48	40560	267696

Nota: Se da a conocer el costo por metro cubico del agua desalinizada de 13 unidades con una producción promedio de 65m3/h operando todos los días, teniendo en cuenta que el 1m3 de agua desalinizada cuesta S/6.60 nuevos soles.

**TABLA II**  
COSTO DE PERDIDAS

<b>Costo de perdidas</b>		
<b>Tiempo(h)</b>	<b>Cantidad (m3)</b>	<b>Precio (S/.)</b>
1	130	858
24	3120	20592
48	6240	41184

Nota: Se da a conocer el costo de pérdidas de 2 unidades, teniendo en cuenta que el 1m3 de agua desalinizada cuesta S/6.60 nuevos soles.

El objetivo del trabajo es realizar un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la confiabilidad de los equipos de la planta desalinizadora de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A, correspondiendo todo los sistemas mecánicos y eléctricos. Al implementar y aplicar este plan de mantenimiento preventivo, la vida útil de los equipos se incrementará, trabajaran en una óptima eficiencia, no habrá paradas de planta sin programar y de esa manera no afectara la producción y el costo de mantenimiento disminuirá.

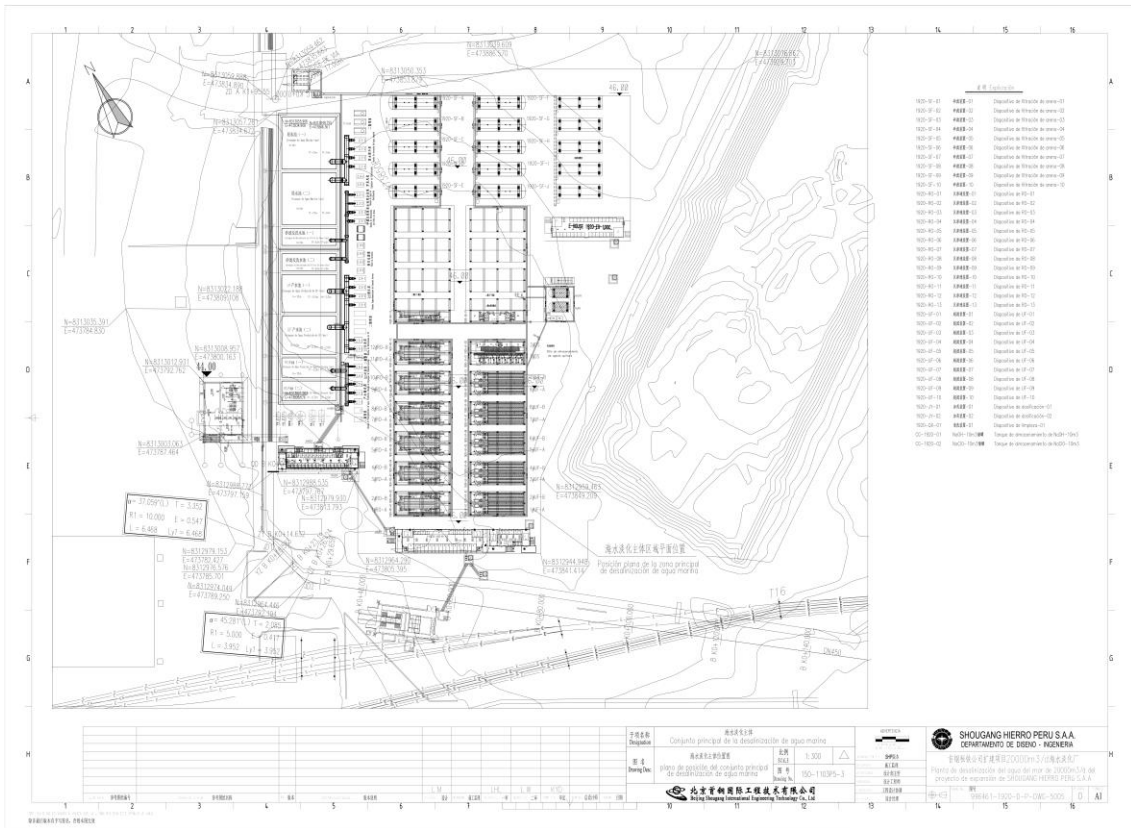


Fig. 1 Plano de planta desalinizadora de agua de mar.

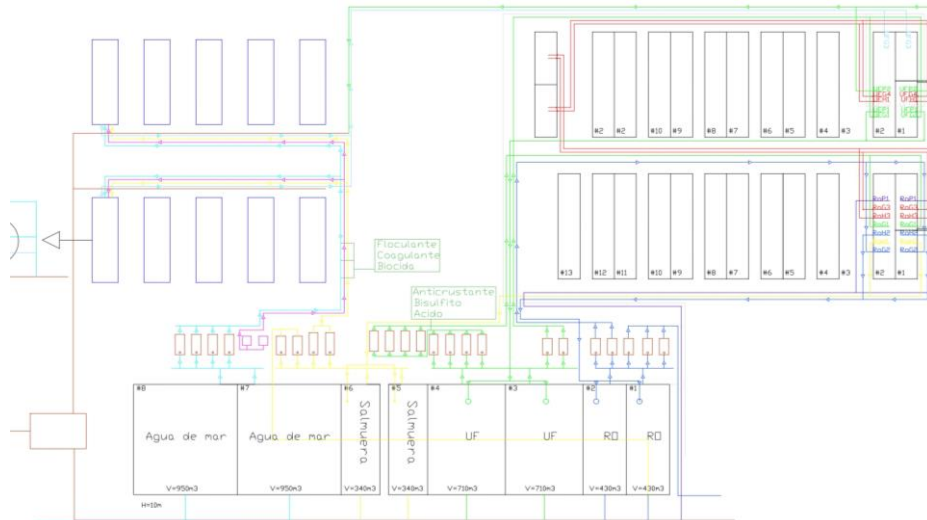


Fig. 2 Diagrama de flujo planta desalinizadora de agua de mar.



**Fig. 3** Vista aérea de planta desalinizadora de agua de mar.



**Fig. 4** Área de filtros de arena



**Fig. 5** Área de osmosis inversa



**Fig. 6** Área de ultrafiltración

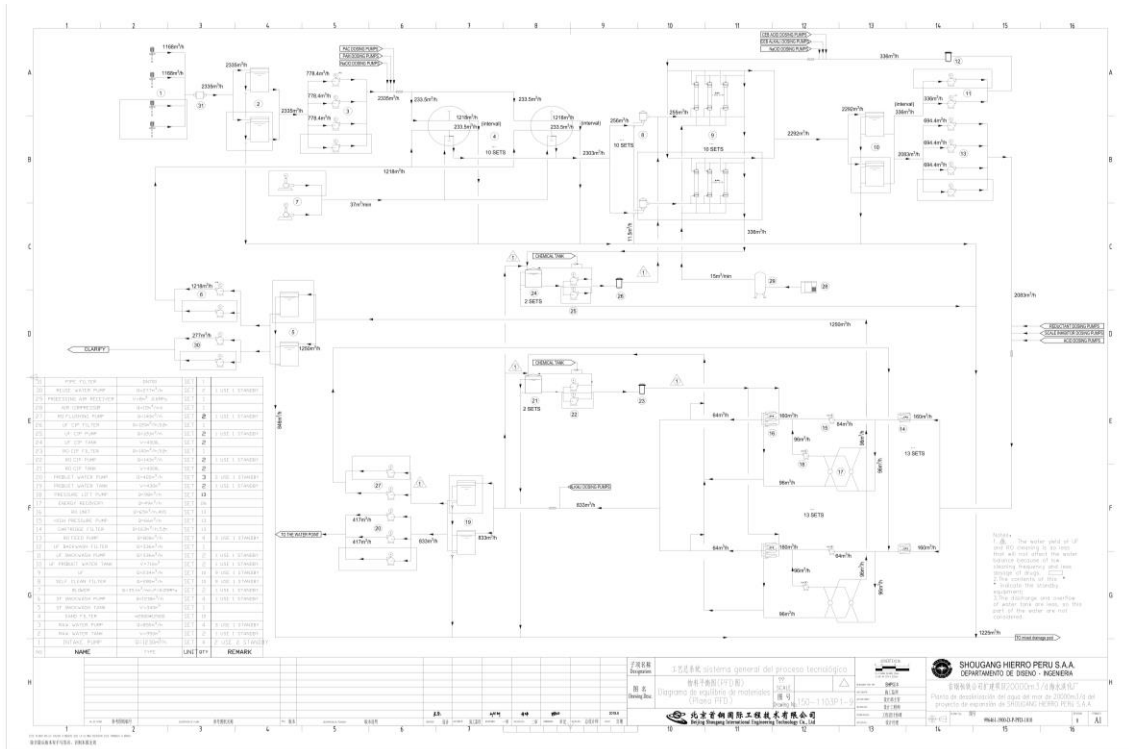


Fig. 7 Diagrama del proceso de la planta desalinizadora

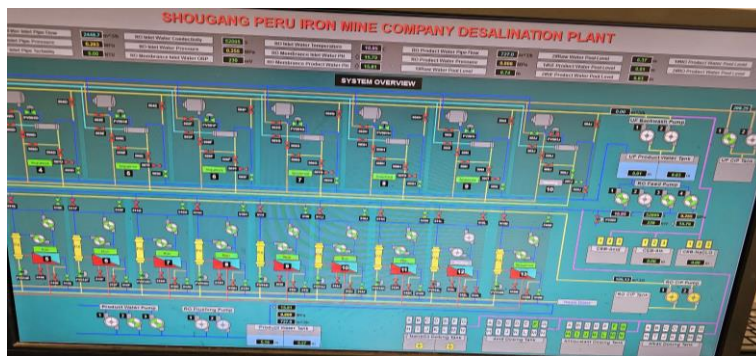


Fig. 8 Planta desalinizadora sistema scada 1

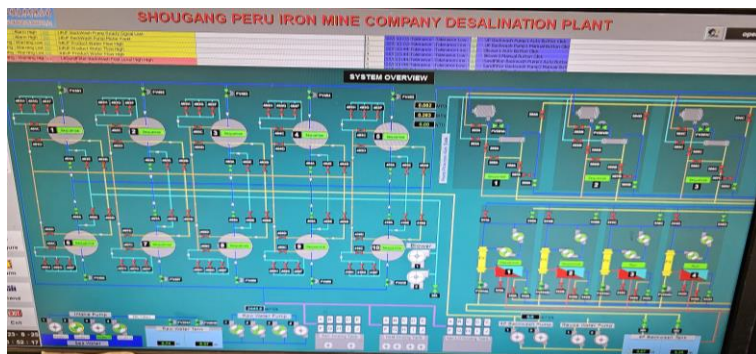


Fig. 9 Planta desalinizadora sistema scada 2.

En base a los planos, diagramas, líneas de producción pude realizar un diagrama de Ishikawa, donde identifiqué los problemas teniendo en cuenta las causas y efectos.

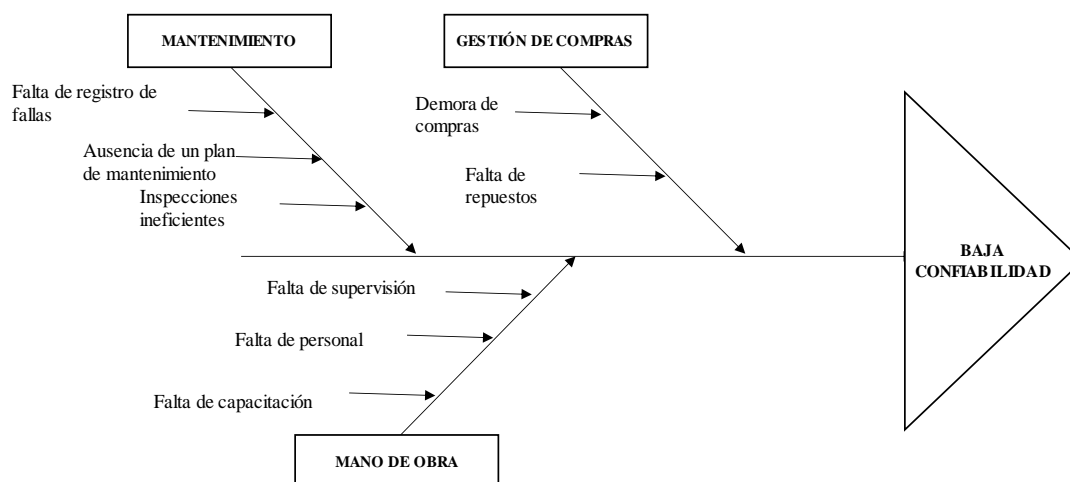


Fig. 10 Diagrama de Ishikawa

Obtuve como resultado los problemas relacionados al mantenimiento; como la falta de registro de fallas, la ausencia de un plan de mantenimiento, las inspecciones ineficientes; en la gestión de compras, se tiene que hay demora en las compras y falta de repuestos en planta, y por último respecto a la mano de obra, se tiene que hay una falta de supervisión, falta de personal y falta de capacitación. Estas causas tienen como efecto una baja confiabilidad la planta.

TABLA III  
CALIFICACION DE CAUSAS

Causas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Correlación
1 Falta de personal	C1	2	2	2	2	1	1	2	12
2 Inspecciones ineficientes	C2	1	2	5	5	5	5	5	28
3 Falta de supervisión	C3	2	1	2	3	1	2	0	11
4 Demora de compras	C4	3	3	3	3	2	2	4	20
5 Falta de registro de fallas	C5	4	5	4	5	5	5	5	33
6 Ausencia de un plan de mantenimiento	C6	5	5	1	4	4	5	5	29
7 Falta de repuestos	C7	4	3	1	4	3	3	3	21
8 Falta de capacitación	C8	3	0	0	3	3	3	2	14

Nota: Calificación de causas por su influencia de una sobre otra, ponderándose del 1 al 5, donde 1 es cuando hay menos influencia, y 5 cuando hay mayor influencia de una causa en otra.

**TABLA IV**  
PONDERACIÓN TOTAL DE CAUSAS

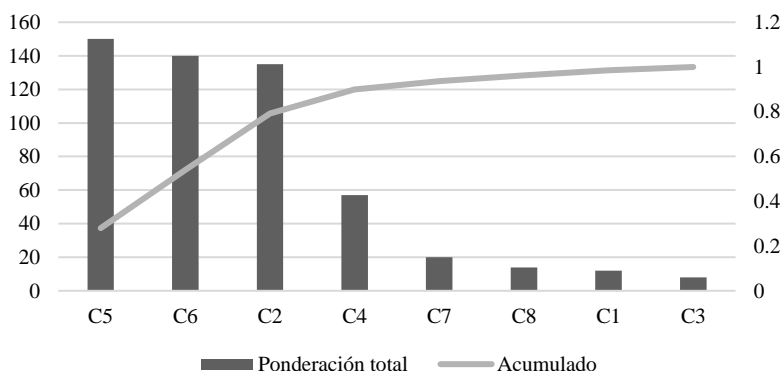
Causas	Puntaje de correlación	Frecuencia	Ponderación total
C1 Falta de personal	12	1	12
C2 Inspecciones ineficientes	28	5	140
C3 Falta de supervisión	11	1	11
C4 Demora de compras	20	3	60
C5 Falta de registro de fallas	33	5	165
C6 Ausencia de un plan de mantenimiento	29	5	145
C7 Falta de repuestos	21	1	21
C8 Falta de capacitación	14	1	14

Nota: En base a la correlación, identifique la frecuencia con la que suceden estas causas, teniendo en cuenta que 1 es cuando suceden muy poco, 3 regular y 5 de alta aparición de estas causas en planta. Multiplicándose estos valores se tuvo la ponderación total.

**TABLA V**  
PONDERACIÓN PARETO DE LAS CAUSAS

Causas	Ponderación total	%	Puntaje acumulado	Acumulado %	Pareto
C5 Falta de registro de fallas	165	29,0%	165	29,0%	
C6 Ausencia de un plan de mantenimiento	145	25,5%	310	54,6%	80%
C2 Inspecciones ineficientes	140	24,6%	450	79,2%	
C4 Demora de compras	60	10,6%	510	89,8%	
C7 Falta de repuestos	21	3,7%	531	93,5%	
C8 Falta de capacitación	14	2,5%	545	96,0%	20%
C1 Falta de personal	12	2,1%	557	98,1%	
C3 Falta de supervisión	11	1,9%	568	100,0%	
Total	568	100,0%			

Nota: Se ordenó la ponderación total, teniendo como causas principales: la falta de registro de fallas, ausencia de un plan de mantenimiento e inspecciones ineficientes por lo que estas causas ocasionan la baja confiabilidad en la planta.



**Fig. 11** Diagrama de Pareto

Para obtener los equipos críticos aplique criticidad y mediante una tabla determine que equipos son alta y medianamente críticos y con ello realizar disponibilidad y confiabilidad.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Categoría de Frecuencia	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
Categoría de Consecuencias	1	2	3	4	5	

Fig. 12 Matriz de criticidad [5]

La matriz tiene un eje se representa la frecuencia de fallas y en el otro las consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo si le ocurre una falla. En la matriz de criticidad se identifican con letras los niveles de criticidad: (B) criticidad baja, color verde; (M) criticidad media, color amarillo; (A) criticidad alta, color rojo.

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF, en años	Número de fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurra en 100 años.
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 1000 años.

Fig. 13 Criterio para la frecuencia [5]

En la figura se muestra los criterios para estimar la frecuencia. Se utiliza el tiempo promedio entre fallas (TPEF)(MTBF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año, en caso de no contar con esta información se usa base de datos genéricos y si está no está disponible se basará en la opinión de expertos.

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Fig. 14 Criterio para las consecuencias [5]

En la figura se muestra el criterio para estimar la consecuencia. Con ello se puede saber el daño que se tendrá en el personal, el efecto que tendrá en la población, el impacto que se tendrá al medio ambiente, las pérdidas en la producción y los daños que pueden ocasionar en las instalaciones.

Frecuencia	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	Impacto																					

Fig. 15 Matriz de resultados [5]

En la figura se muestra como calificar los resultados obtenidos luego de los criterios antes descritos. Para (B) criticidad baja, color verde es de  $5 \leq \text{criticidad} \leq 29$ ; (M) criticidad media, color amarillo es de  $30 \leq \text{criticidad} \leq 49$ ; (A) criticidad alta, color rojo es de  $50 \leq \text{criticidad} \leq 125$ .

**TABLA VI**  
TABLA DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

TIPO DE CRITICIDAD		RANGO			COLOR			
Alto		50 ≤ Criticidad ≤ 125			ROJO			
Medio		30 ≤ Criticidad ≤ 49			AMARILLO			
Bajo		5 ≤ Criticidad ≤ 29			VERDE			
ANALISIS DE CRITICIDAD								
CONSECUENCIAS								
Equipos	Frecuencia	Impacto Ambiental	Impacto a la población	Impacto al personal	Impacto a la producción	Daños a las instalaciones	Nivel de criticidad	Criticidad
M.ELECT.RET.SF	4	1	1	1	1	1	20	Bajo
BB. RET. SF	5	2	1	1	1	1	30	Bajo
M.ELECT.RET.UF	4	1	1	1	1	1	20	Bajo
BB.ELECT.RET.UF	4	2	1	1	1	1	24	Bajo
M.REDUCTOR.UF VAL.	4	2	1	1	2	2	32	Medio
ELECTRONEUMATICA	4	2	1	1	1	1	30	Bajo
VALV. MANUAL	4	2	1	1	1	1	30	Bajo
BB. SUPERALIMENTADORA	5	2	2	2	2	2	50	Alto
BB. CAPTACION	5	2	2	2	2	2	50	Alto
BB. REFUERZO	5	2	2	2	2	2	50	Alto
BB. ALTA PRESION	5	2	2	2	2	2	50	Alto

Nota: Tabla donde se pudo identificar que equipos tienen criticidad baja, media y alta.

Para determinar el estudio de disponibilidad se realizó un estimado de horas laborables en base a la operación, teniendo en cuenta que estas están activas las 24 horas del día.

Luego realice una serie de tablas donde se muestra las horas trabajadas mensuales durante un periodo de 6 meses por cada máquina, desde enero a junio del 2022 y para ello se utilizó las siguientes fórmulas para el cálculo de la disponibilidad (D) y la confiabilidad (C):

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$C = e^{-\frac{HORAS TRABAJADAS}{MTBF \cdot 100}}$$

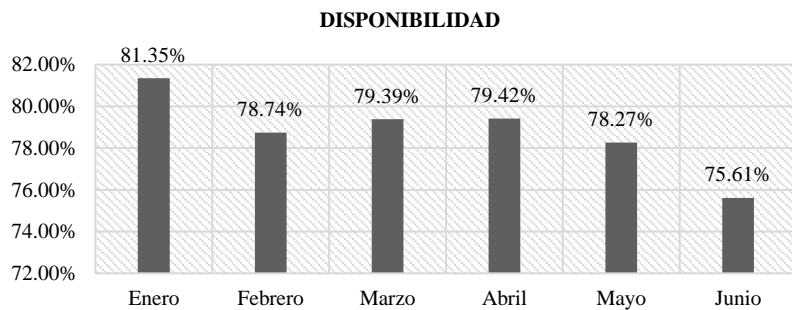
$$MTBF = \frac{HORAS TRABAJADAS}{N^{\circ} Fallas}$$

$$MTTR = \frac{HORAS PARADAS}{N^{\circ} FALLAS}$$

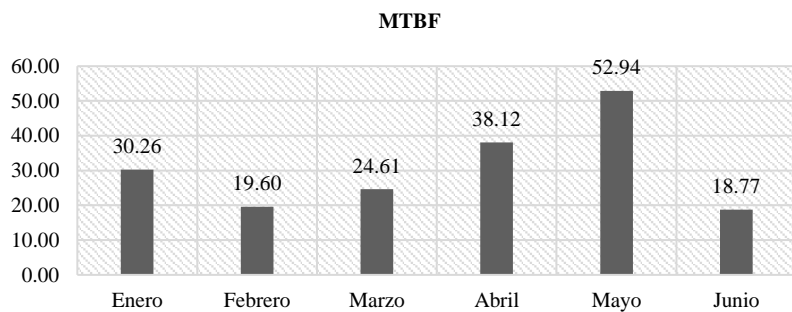
**TABLA VII**  
HORAS LABORABLES DE BOMBA DE ALTA PRESIÓN

Mes	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	744	605.25	138.75	20	30.26	6.94	81.35%	81.87%
Febrero	672	529.13	142.87	27	19.60	5.29	78.74%	76.34%
Marzo	744	590.66	153.34	24	24.61	6.39	79.39%	78.66%
Abril	720	571.8	148.2	15	38.12	9.88	79.42%	86.07%
Mayo	744	582.3	161.7	11	52.94	14.70	78.27%	89.58%
Junio	720	544.4	175.6	29	18.77	6.06	75.61%	74.83%
				126	30.72	8.21	78.80%	81.23%

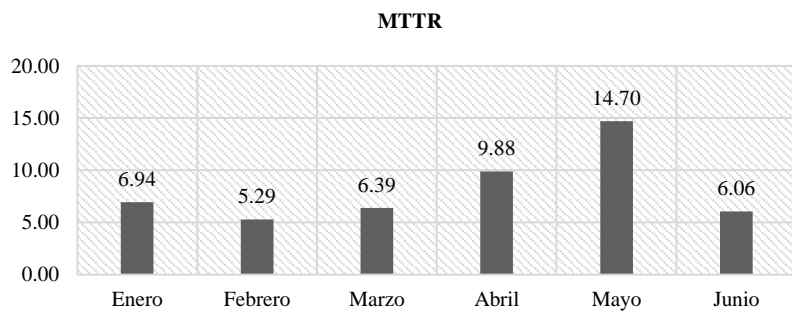
Nota: Se observa que la disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2022 de la bomba de alta presión de osmosis inversa es del 78.80%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 81.23%.



**Fig. 16** Disponibilidad inicial de la bomba de alta presión

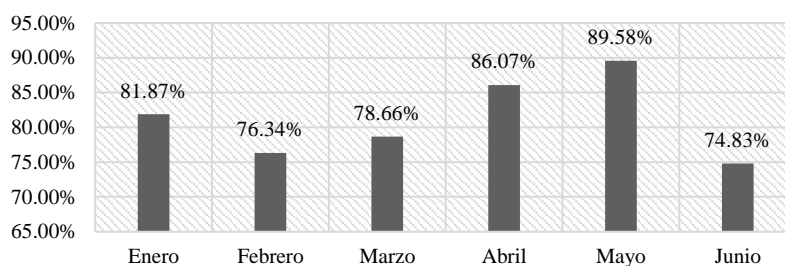


**Fig. 17** MTBF inicial de la bomba de alta presión.



**Fig. 18** MTTR inicial de la bomba de alta presión

### CONFIABILIDAD



**Fig. 19** Confiabilidad inicial de la bomba de alta presión

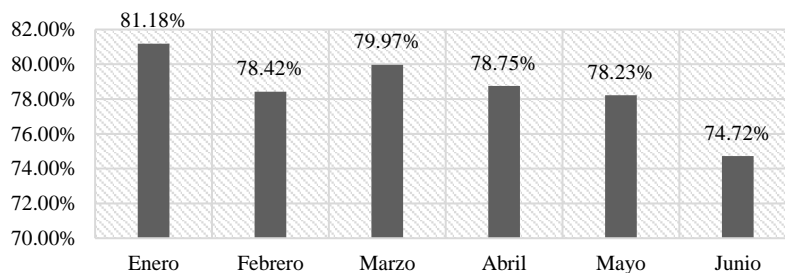
### TABLA VIII

#### HORAS LABORABLES DE BOMBA DE REFUERZO

Mes	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	744	604	140	26	23.23	5.38	81.18%	77.11%
Febrero	672	527	145	27	19.52	5.37	78.42%	76.34%
Marzo	744	595	149	30	19.83	4.97	79.97%	74.08%
Abril	720	567	153	35	16.20	4.37	78.75%	70.47%
Mayo	744	582	162	38	15.32	4.26	78.23%	68.39%
Junio	720	538	182	40	13.45	4.55	74.72%	67.03%
				196	17.92	4.82	78.55%	72.24%

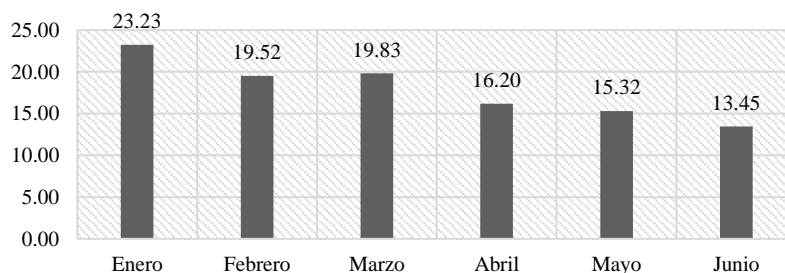
Nota: Se observa que la disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2022 de la bomba de refuerzo de osmosis es del 78.55%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 72.24%.

### DISPONIBILIDAD

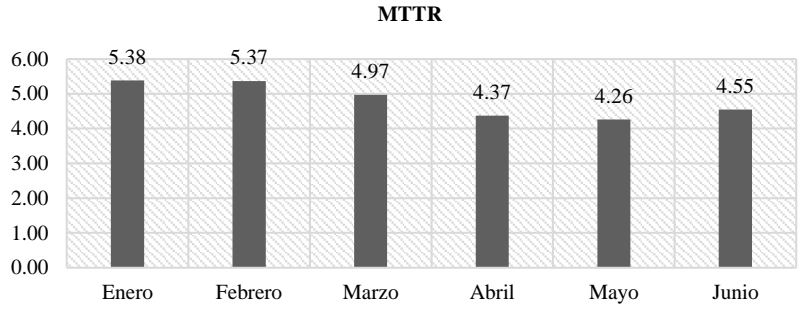


**Fig. 20** Disponibilidad inicial bomba de refuerzo

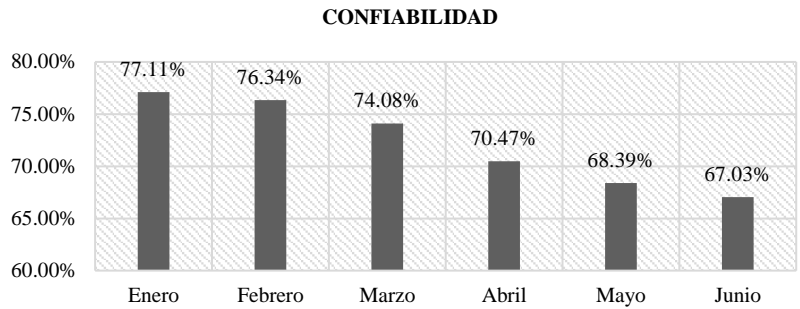
### MTBF



**Fig. 21** MTBF inicial bomba de refuerzo



**Fig. 22** MTRR inicial bomba de refuerzo

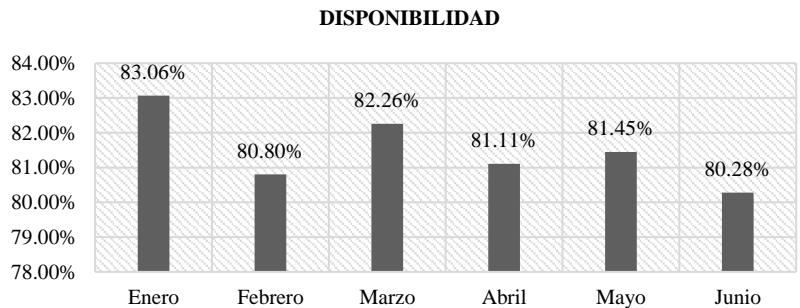


**Fig. 23** Confiabilidad inicial bomba de refuerzo

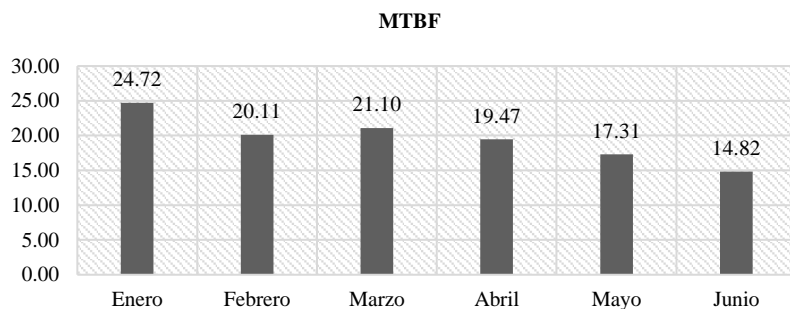
**TABLA IX**  
HORAS LABORABLES DE BOMBA SUPERALIMENTADORA

Mes	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° fallas	MTBF	MTRR	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	744	618	126	25	24.72	5.04	83.06%	77.88%
Febrero	672	543	129	27	20.11	4.78	80.80%	76.34%
Marzo	744	612	132	29	21.10	4.55	82.26%	74.83%
Abril	720	584	136	30	19.47	4.53	81.11%	74.08%
Mayo	744	606	138	35	17.31	3.94	81.45%	70.47%
Junio	720	578	142	39	14.82	3.64	80.28%	67.71%
				185	19.59	4.41	81.49%	73.55%

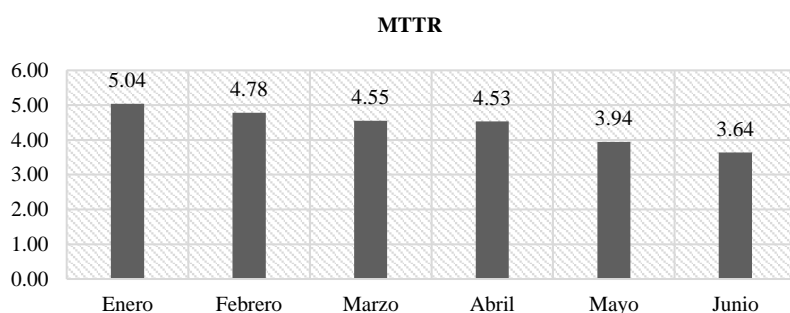
Nota: Se observa que la disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2022 de la bomba de alimentación al sistema de desalinización es del 81.49%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 73.55%.



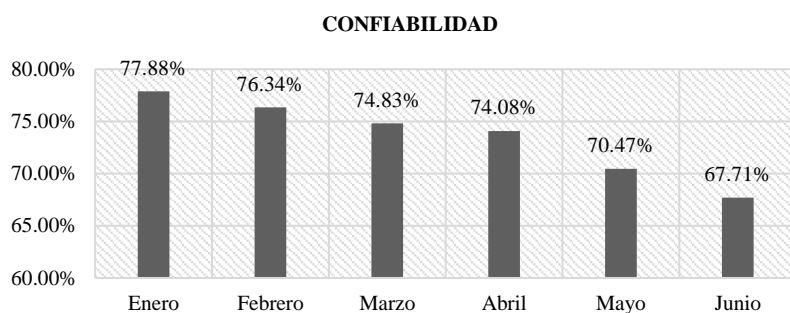
**Fig. 24** Disponibilidad inicial de bomba superalimentadora



**Fig. 25** MTBF inicial de bomba superalimentadora



**Fig. 26** MTTR inicial de bomba superalimentadora



**Fig. 27** Confiabilidad inicial de bomba superalimentadora

**TABLA X**  
HORAS LABORABLES DE BOMBA DE CAPTACIÓN

Mes	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	744	602	142	35	17.20	4.06	80.91%	70.47%
Febrero	672	516	156	39	13.23	4.00	76.79%	67.71%
Marzo	744	587	157	41	14.32	3.83	78.90%	66.37%
Abril	720	557	163	43	12.95	3.79	77.36%	65.05%
Mayo	744	575	169	49	11.73	3.45	77.28%	61.27%
Junio	720	546	174	51	10.71	3.41	75.83%	60.05%
				258	13.36	3.76	77.85%	65.15%

Nota: Se observa que disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2022 de la bomba de captación es del 77.85%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 65.15%

### DISPONIBILIDAD

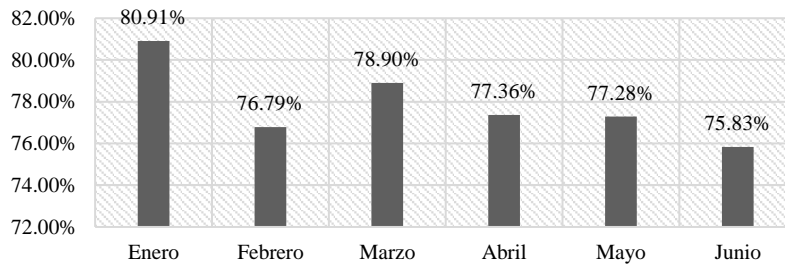


Fig. 28 Disponibilidad inicial bomba de captación

### MTBF

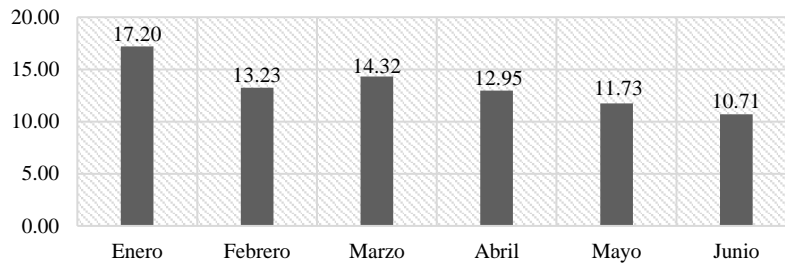


Fig. 29 MTBF inicial bomba de captación

### MTTR

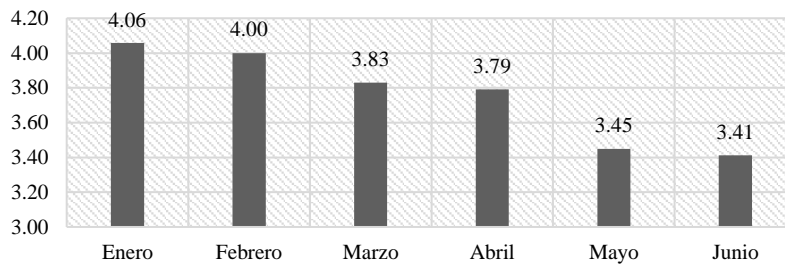


Fig. 30 MTTR inicial bomba de captación

### CONFIABILIDAD

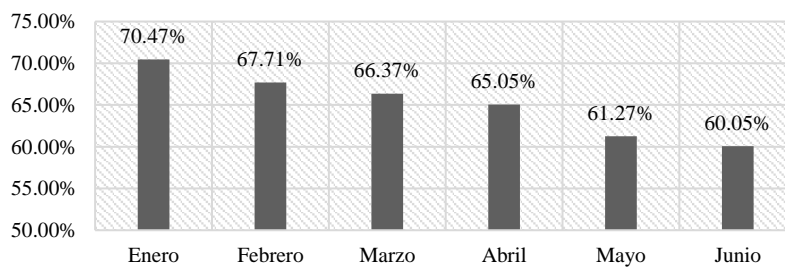


Fig. 31 Confiabilidad inicial bomba de captación

**TABLA XI**  
FALLO FUNCIONAL, MODO DE FALLA Y EFECTO DE FALLA DE LAS MÁQUINAS

Nº	Máquina	Fallo Funcional	Modo de falla	Efectos de las Fallas
1	Bomba de alta presión	No bombea	Desgaste	Detención en caliente del motor
2	Bomba de refuerzo	No bombea	Desgaste	Detención en caliente del motor
3	Motorreductor	No disminuye la velocidad	Desgaste	Detención del motor
4	Bomba superalimentadora	No suministra energía	Desgaste	Detención en caliente en el motor
5	Bomba de captación	No bombear	Fractura	Desalineamiento con el motor
6	Válvula electroneumática	Fuga de aire	Desgaste	Desalineamiento del actuador
7	Válvula manual	No realizar la apertura y cierre	Desgaste	Detención del motor

Nota: Se analizó la información recolectada y se obtuvo las fallas funcionales, modo de falla y efecto de falla de cada equipo.

**TABLA XII**  
DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM

Referencia	Consecuencia Evaluación				H1, S1, E1, O1	H2, S2, E2, O2	H3, S3, E3, O3	H4, S4	H5
	H	S	E	O					
1	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No
2	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No
3	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No
4	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No
5	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No
6	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No
7	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No

Nota: Diagrama de decisión RCM, el cual proporciona la guía para poder establecer el tipo de actividad que se debe de realizar de acuerdo con cada falla, clasificándolas en actividades programadas.

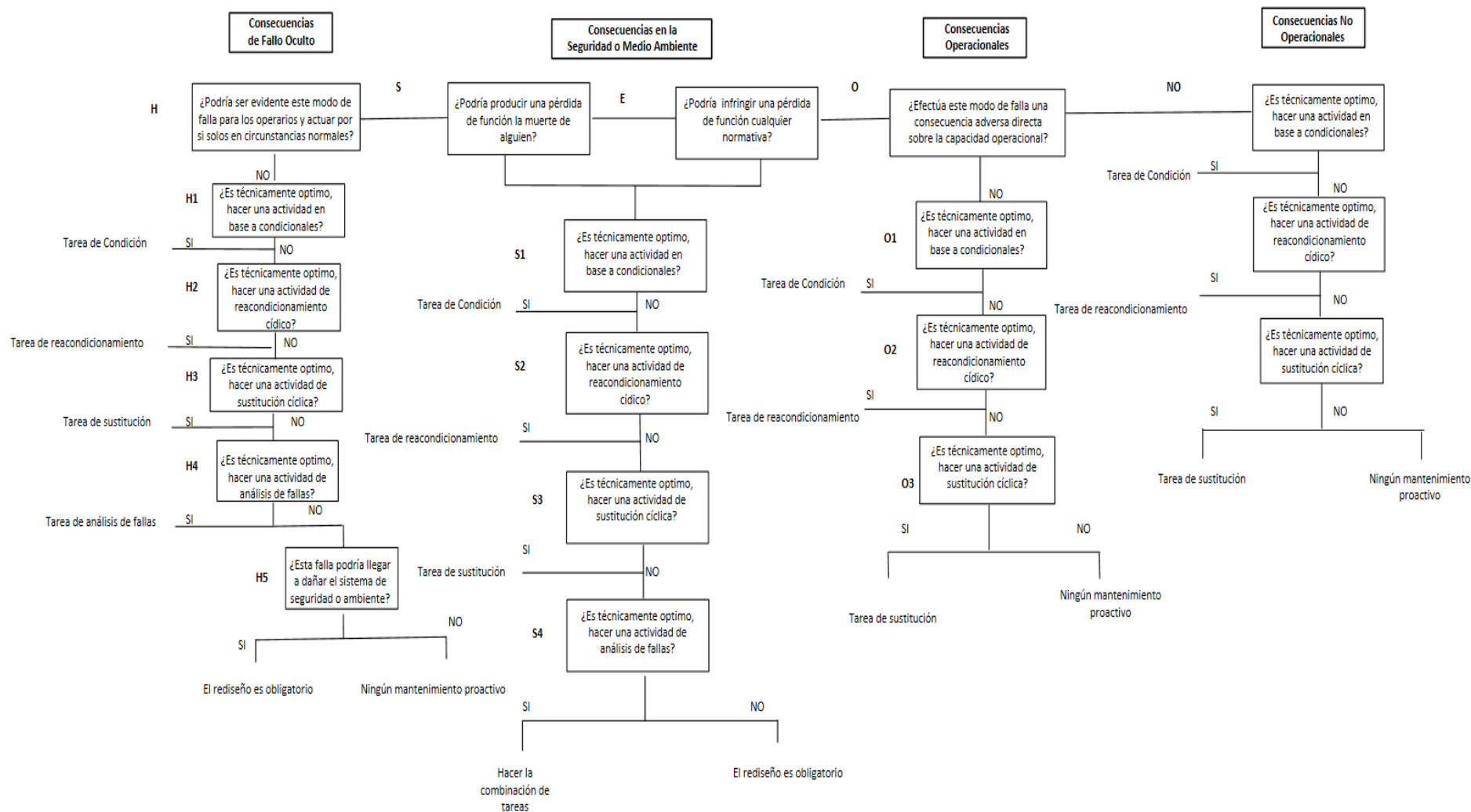


Fig. 32 Diagrama de Decisión RCM

**TABLA XIII**  
BOMBA DE ALTA PRESIÓN

Registro de identificación de fallas																															
Nombre del equipo		Bomba de alta presión de osmosis inversa.																													
Marca	Sulzer	Modelo													NBN50-215/07STD																
Operador:		Supervisor:													Fecha																
Sistema	Tipo de falla	Mes 1																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Sistema de refrigeración	Recalentamiento de la tubería	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Calentamiento de la bomba	X		X			X		X	X	X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Sistema mecánico	Aumento de presión	X	X	X		X		X	X	X	X		X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Sistema de rodamientos	Fuga de aceite	X		X		X		X	X	X	X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Recalentamiento		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Nota: Registro de fallas diarias de la bomba de alta presión durante el periodo de un mes.

**TABLA XIV**  
BOMBA DE REFUERZO

Registro de identificación de fallas																															
Nombre del equipo		Bomba de refuerzo de osmosis inversa																													
Marca	Sulzer	Modelo													ZF80-2200																
Operador:		Supervisor:													Fecha																
Sistema	Tipo de falla	Mes 1																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Sistema de refrigeración	Recalentamiento de la tubería	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Sistema de bombeo	Vibración de la bomba			X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Calentamiento de la bomba	X	X		X		X		X	X	X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Sistema de rodamientos	Fuga de aceite	X	X		X		X		X	X	X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Recalentamiento	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Sistema de lubricación	Fuga de aceite		X	X		X	X	X	X	X		X		X		X	X	X		X	X		X	X		X	X	X	X		
	Fractura de la bomba		X		X		X		X	X	X	X	X		X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Nota: Registro de fallas diarias de la bomba refuerzo durante el periodo de un mes.

**TABLA XV**  
INSPECCIONES DEFICIENTES DEL ÁREA

<b>INSPECCIONES DEFICIENTES</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
¿Inspección de la tubería de refrigeración?		X
¿Limpieza externa de la bomba?		X
¿Inspección de sellos mecánicos?		X
¿Inspección y lubricación de los rodamientos?		X
¿Verificar el nivel de aceite?		X
¿Inspección visual de corrosión de la carcasa?		X
¿Detectar fugas de aceite del sistema de lubricación?		X
¿Lubricación de rodamientos?		X
¿Limpieza externa del motor?		X
¿Inspeccionar el sistema eléctrico?	X	
¿Inspeccionar y medir el aislamiento?	X	
¿Chequear la cantidad de grasa?		X
¿Detectar problemas en los rodamientos?	X	
¿Detectar problemas en el equipo?		X
¿Inspección de los engranajes?		X
¿Limpieza externa del reductor de velocidad?		X
¿Lubricación de los engranajes?		X
¿Limpieza externa de la bomba hidráulica?		X
¿Limpieza externa de las válvulas?	X	
¿Ajuste de las líneas de aire?		X
¿Ajuste de las líneas de aire?	X	
¿Ajuste de los cables de alimentación?		X
¿Chequear si gira con normalidad el actuador?		X
¿Limpieza externa de las válvulas manuales?		X
¿Verificar si gira con normalidad el actuador?		X

Nota: Listado de inspecciones deficientes de todos los equipos en general de la planta.

## CAPÍTULO IV: APORTES A LA INSTITUCIÓN

Al analizar la información recolectada y consultando a trabajadores antiguos como ingenieros mecánicos, mecánicos y operadores, hace que el nuevo plan de mantenimiento comprenda tareas cíclicas que van desde inspecciones simples hasta el cambio o reemplazo del equipo. La implementación de éste nuevo plan se realizó gracias a la estructuración y definición de actividades que se deben practicar periódicamente con disciplina según la propuesta realizada.

**TABLA XVI**  
MANTENIMIENTO DE LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN

Programación de mantenimiento preventivo					
Nombre del equipo	Bomba de alta presión de osmosis inversa.				
Marca	SULZER	Modelo:	NBN50-215/07STD	Fecha:	
Operador:	<b>Supervisor:</b>				
Actividad	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la Actividad (min)	Frecuencia	Responsable de la actividad
	ENCEN	APAG			
Inspección de la tubería de refrigeración	X		20	Semanal	Operario
Limpieza externa de la bomba	X		35	Semanal	Operario
Inspección de sellos mecánicos		X	50	Bimestral	Operario
Inspección y Lubricación de los rodamientos		X	50	Bimestral	Operario
Verificar de nivel y cambio de aceite		X	20	Bimestral	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcasa	X		10	Semanal	Operario
Detectar fugas de aceite del sistema de lubricación.	X		5	Diaria	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento preventivo a realizar para la bomba de alta presión de osmosis inversa.

**TABLA XVII**  
MANTENIMIENTO DE LA BOMBA DE REFUERZO

<b>Programación de mantenimiento preventivo</b>					
<b>Nombre del equipo</b>	Bomba de refuerzo de osmosis inversa				
<b>Marca:</b>	SULZER	<b>Modelo:</b>	ZF80-2200	<b>Fecha:</b>	
<b>Operador:</b>			<b>Supervisor:</b>		
<b>Actividad</b>	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la actividad (min)	Frecuencia	Responsable de la actividad
	Encendido	Apagado			
Inspección de la tubería de refrigeración	X		20	Semanal	Operario
Limpieza externa de la bomba	X		15	Semanal	Operario
Inspección de sellos mecánicos		X	60	Bimestral	Operario
Lubricación de rodamientos		X	30	Bimestral	Operario
Verificar de nivel y cambio de aceite		X	20	Bimestral	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcasa	X		10	Semanal	Operario
Detectar fugas de aceite del sistema de lubricación	X		5	Diaria	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento a realizar para la bomba de refuerzo de osmosis inversa.

**TABLA XVIII**  
MANTENIMIENTO DEL MOTOR DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD

<b>Programación de mantenimiento preventivo</b>					
<b>Nombre del equipo:</b>	Motor del filtro autolimpiante				
<b>Marca:</b>	ABB	<b>Modelo:</b>	--	<b>Fecha:</b>	
<b>Operador:</b>			<b>Supervisor:</b>		
<b>Actividad:</b>	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la Actividad (min)	Frecuencia	Responsable de la actividad
	ENCEN	APAG			
Inspección de los rodamientos		X	30	Semestral	Operario
Limpieza externa del motor	X		15	Quincenal	Operario
Inspeccionar el sistema eléctrico		X	30	Bimestral	Operario
Inspeccionar y medir el aislamiento		X	25	Bimestral	Operario
Lubricación de rodamientos		X	20	Mensual	Operario
Chequear la cantidad de grasa		X	15	Semanal	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcasa del motor	X		10	Semanal	Operario
Detectar problemas en el equipo	X		5	Diaria	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento preventivo a realizar para el motor del filtro autolimpiante.

**TABLA XIX**  
MANTENIMIENTO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD

<b>Programación de mantenimiento preventivo</b>					
<b>Nombre del equipo:</b>	Reductor de velocidad del filtro autolimpiante				
<b>Marca:</b>	ABB	<b>Modelo:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Operador:</b>			<b>Supervisor:</b>		
<b>Actividad:</b>	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la Actividad (min)	Frecuencia	Responsable de la actividad
	ENCEN	APAG			
Inspección de los engranajes		X	30	Semestral	Operario
Limpieza externa del reductor de velocidad	X		15	Quincenal	Operario
Inspeccionar el sistema mecánico		X	40	Bimestral	Operario
Lubricación de los engranajes		X	20	Mensual	Operario
Chequear la cantidad de aceite		X	10	Semanal	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcasa del reductor de velocidad	X		10	Semanal	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento preventivo a realizar para el reductor de velocidad del filtro autolimpiante.

**TABLA XX**  
MANTENIMIENTO DE BOMBA SUPERALIMENTADORA

<b>Programación de mantenimiento preventivo</b>					
<b>Nombre del equipo:</b>	Bombas superalimentadoras				
<b>Marca:</b>	SULZER	<b>Modelo:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Operador:</b>			<b>Supervisor:</b>		
<b>Actividad:</b>	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la Actividad (min)	Frecuencia	Responsable de la actividad
	ENCEN	APAG			
Inspección y medición de los rodamientos		X	20	Semestral	Operario
Limpieza externa de la bomba	X		15	Quincenal	Operario
Inspección de sellos mecánicos		X	60	Bimensual	Operario
Lubricación de rodamientos		X	30	Bimestral	Operario
Chequear nivel de aceite		X	10	Semanal	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcasa	X		10	Semanal	Operario
Detectar fugas de aceite del sistema de lubricación	X		3	Diaria	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento preventivo a realizar para las bombas superalimentadoras.

**TABLA XXI**  
MANTENIMIENTO DE BOMBA DE CAPTACIÓN

<b>Programación de mantenimiento preventivo</b>					
<b>Nombre del equipo:</b>	Bombas de captación				
<b>Marca:</b>	GOULDS	<b>Modelo:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Operador:</b>		<b>Supervisor:</b>			
<b>Actividad:</b>	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la Actividad (min)	Frecuencia	Responsable de la actividad
	ENCEN	APAG			
Limpieza externa de la bomba Hidráulica	X		15	Quincenal	Operario
Inspección de sellos mecánicos		X	60	Bimestral	Operario
Lubricación de rodamientos		X	30	Bimestral	Operario
Chequear nivel de grasa		X	10	Semanal	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcaza	X		10	Semanal	Operario
Detectar fugas de aceite del sistema de lubricación	X		3	Diaria	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento preventivo a realizar para las bombas de captación.

**TABLA XXII**  
MANTENIMIENTO DE VÁLVULA ELECTRONEUMÁTICA

<b>Programación de mantenimiento preventivo</b>					
<b>Nombre del equipo:</b>	Válvulas electroneumáticas				
<b>Marca:</b>	BRAY CONTROLS	<b>Modelo:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Operador:</b>		<b>Supervisor:</b>			
<b>Actividad:</b>	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la actividad (min)	Frecuencia	Responsable de la actividad
	ENCEN	APAG			
Limpieza externa de las válvulas	X		15	Quincenal	Operario
Ajuste de las líneas de aire		X	45	Bimestral	Operario
Inspección de los finales de carrera		X	25	Mensual	Operario
Ajuste de los cables de alimentación		X	20	Quincenal	Operario
Chequear si gira con normalidad el actuador		X	8	Semanal	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcaza	X		5	Semanal	Operario
Detectar fugas de aire en las líneas de alimentación a las válvulas	X		20	Diaria	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento preventivo a realizar para las válvulas electroneumáticas.

**TABLA XXIII**  
MANTENIMIENTO DE VÁLVULA MANUAL

<b>Programación de mantenimiento preventivo</b>					
<b>Nombre del equipo:</b>		Válvulas manuales			
<b>Marca:</b>	--	<b>Tipo:</b>	mariposa	<b>Fecha:</b>	
<b>Operador:</b>		<b>Supervisor:</b>			
<b>Actividad:</b>	Condición del equipo para realizar la actividad		Duración estimada de la Actividad	Frecuencia	Responsable de la actividad
	OPEN	CLOSE	(min)		
Limpieza externa de las válvulas manuales	X		15	Quincenal	Operario
Lubricar los engranajes		X	45	Mensual	Operario
Verificar si gira con normalidad el actuador	X		15	Semanal	Operario
Inspección visual de corrosión de la carcasa	X		5	Semanal	Operario

Nota: Tareas de mantenimiento preventivo a realizar para las válvulas manuales.

Para determinar el estudio de disponibilidad y confiabilidad después de la implementación, realice un estimado de las horas laborables de la empresa, de acuerdo con lo estipulado por la empresa minera en base a la operación, teniendo como dato que trabajan 24 horas del día, para ello realice una serie de tablas donde se muestra la disponibilidad y confiabilidad desde el mes de enero a junio del 2023.

**TABLA XXIV**  
HORAS LABORABLES DE LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN

<b>Mes</b>	<b>Horas programadas</b>	<b>Horas trabajadas</b>	<b>Horas paradas</b>	<b>N° fallas</b>	<b>MTBF</b>	<b>MTTR</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>Confiabilidad</b>
Enero	744	704	40	5	140.80	8.00	94.62%	95.12%
Febrero	672	642	30	4	160.50	7.50	95.54%	96.08%
Marzo	744	719	25	3	239.67	8.33	96.64%	97.04%
Abril	720	691	29	4	172.75	7.25	95.97%	96.08%
Mayo	744	716	28	3	238.67	9.33	96.24%	97.04%
Junio	720	694	26	4	173.50	6.50	96.39%	96.08%
				23	187.65	7.82	95.90%	96.24%

Nota: Se observa que la disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2023 de la bomba de alta presión de osmosis inversa es del 95.90%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 96.24%.

### DISPONIBILIDAD

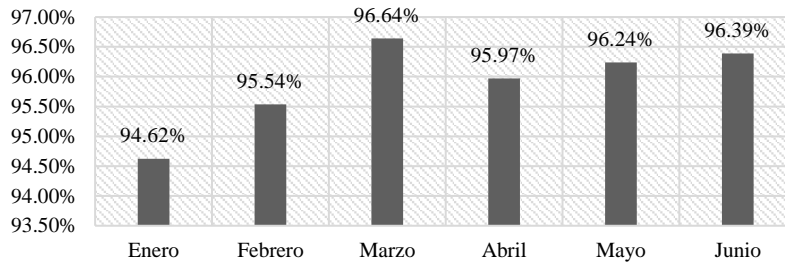


Fig. 33 Disponibilidad final de la bomba de alta presión

### MTBF

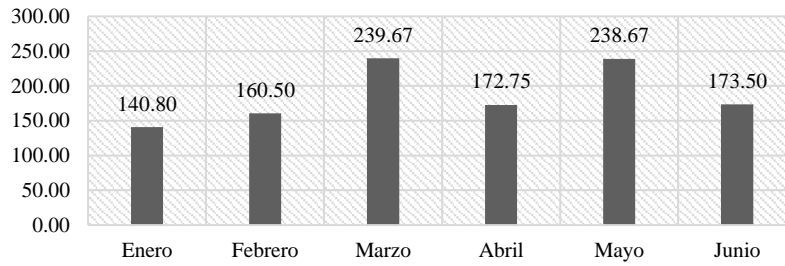


Fig. 34 MTBF final de la bomba de alta presión

### MTTR

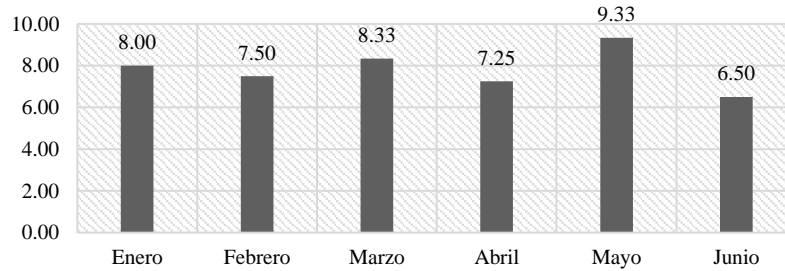


Fig. 35 MTTR final de la bomba de alta presión

### CONFIABILIDAD

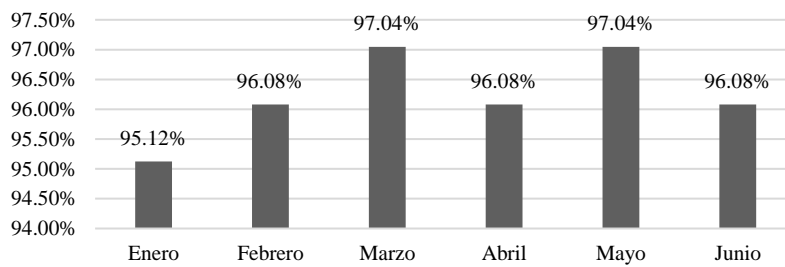


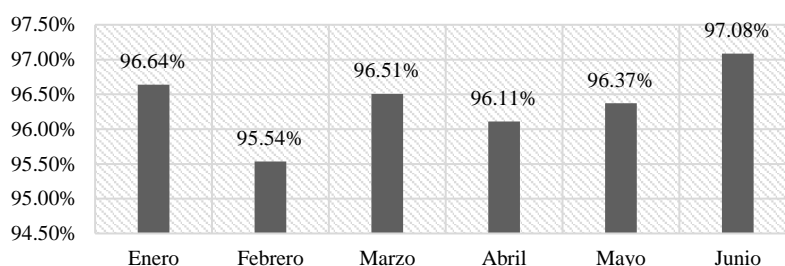
Fig. 36 Confiabilidad final de la bomba de alta presión

**TABLA XXV**  
HORAS LABORABLES DE BOMBA DE REFUERZO

Mes	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	744	719	25	6	119.83	4.17	96.64%	94.18%
Febrero	672	642	30	7	91.71	4.29	95.54%	93.24%
Marzo	744	718	26	4	179.50	6.50	96.51%	96.08%
Abril	720	692	28	3	230.67	9.33	96.11%	97.04%
Mayo	744	717	27	5	143.40	5.40	96.37%	95.12%
Junio	720	699	21	4	174.75	5.25	97.08%	96.08%
				29	156.64	5.82	96.37%	95.29%

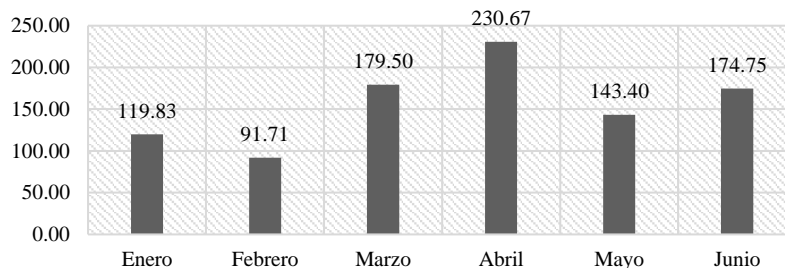
Nota: Se observa que la disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2023 de la bomba de refuerzo de osmosis es del 96.37%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 95.29%.

**DISPONIBILIDAD**



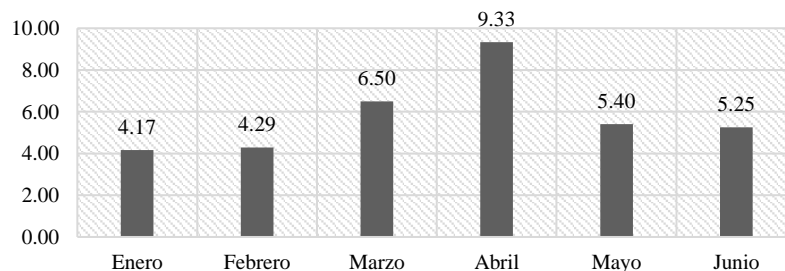
**Fig. 37** Disponibilidad final bomba de refuerzo

**MTBF**



**Fig. 38** MTBF final bomba de refuerzo

**MTTR**



**Fig. 39** MTTR final bomba de refuerzo

### CONFIABILIDAD

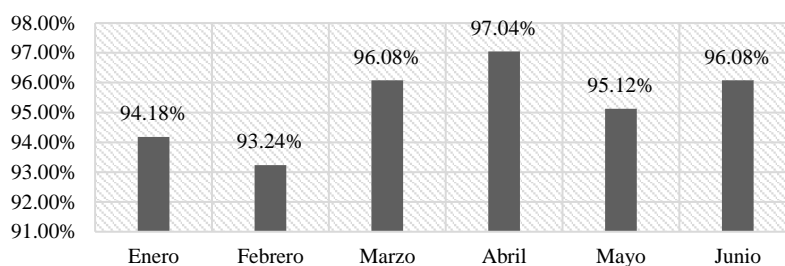


Fig. 40 Confiabilidad final bomba de refuerzo

### TABLA XXVI

#### HORAS LABORABLES DE BOMBA SUPERALIMENTADORA

Mes	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	744	724	20	5	144.80	4.00	97.31%	95.12%
Febrero	672	647	25	9	71.89	2.78	96.28%	91.39%
Marzo	744	722	22	4	180.50	5.50	97.04%	96.08%
Abril	720	690	30	6	115.00	5.00	95.83%	94.18%
Mayo	744	718	26	2	359.00	13.00	96.51%	98.02%
Junio	720	692	28	8	86.50	3.50	96.11%	92.31%
				34	159.61	5.63	96.51%	94.52%

Nota: Se observa que la disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2023 de la bomba de alimentación al sistema de desalinización es del 96.51%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 94.52%.

### DISPONIBILIDAD

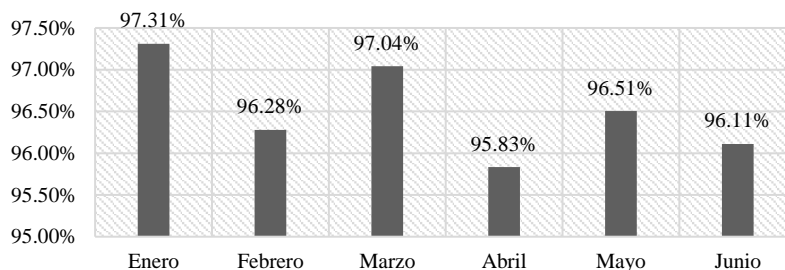


Fig. 41 Disponibilidad final bomba superalimentadora

### MTBF

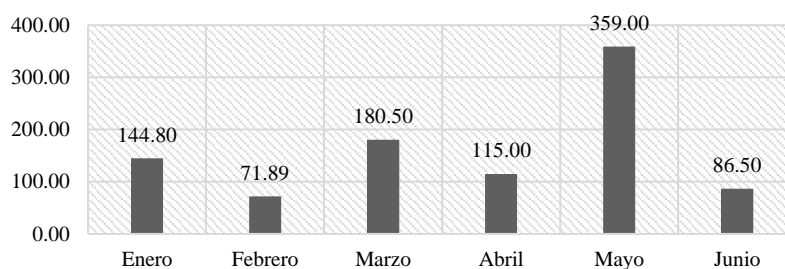
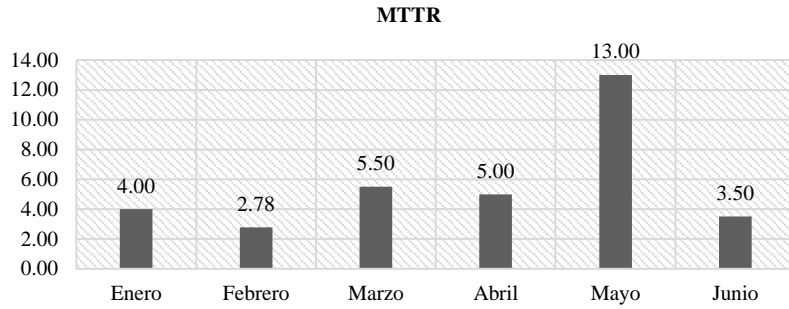
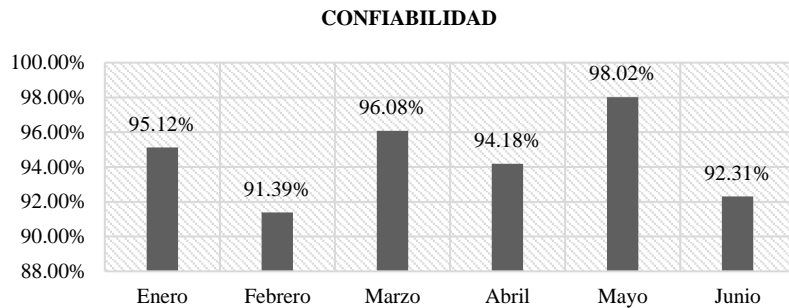


Fig. 42 MTBF final bomba superalimentadora



**Fig. 43** MTTR final bomba superalimentadora

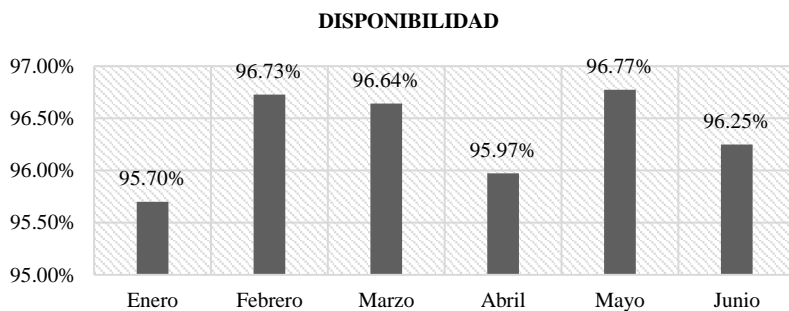


**Fig. 44** Confiabilidad final bomba superalimentadora

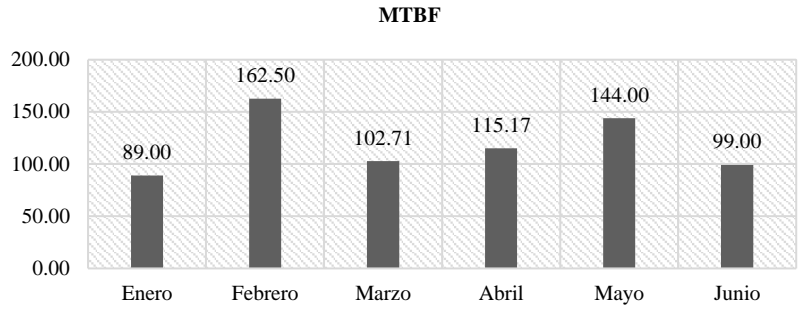
**TABLA XXVII**  
**HORAS LABORABLES DE BOMBA DE CAPTACIÓN**

Mes	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	744	712	32	8	89.00	4.00	95.70%	92.31%
Febrero	672	650	22	4	162.50	5.50	96.73%	96.08%
Marzo	744	719	25	7	102.71	3.57	96.64%	93.24%
Abril	720	691	29	6	115.17	4.83	95.97%	94.18%
Mayo	744	720	24	5	144.00	4.80	96.77%	95.12%
Junio	720	693	27	7	99.00	3.86	96.25%	93.24%
				37	118.73	4.43	96.34%	94.03%

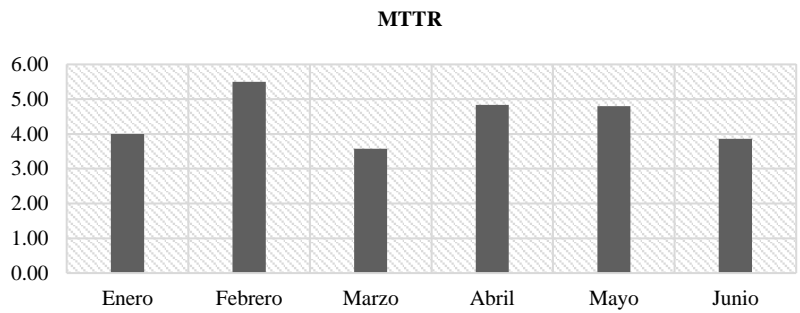
Nota: Se observa que la disponibilidad promedio que se ha tenido en el periodo de enero a junio del 2023 de la bomba de captación es del 96.34%, además de ello la confiabilidad promedio en ese mismo periodo es de 94.03%.



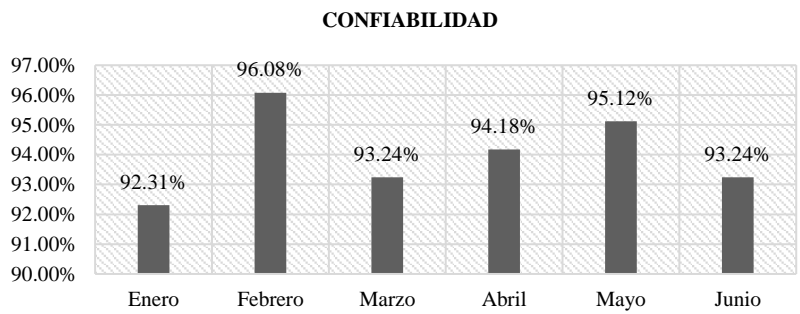
**Fig. 45** Disponibilidad final bomba de captación



**Fig. 46** MTBF final bomba de captación



**Fig. 47** MTTR final bomba de captación



**Fig. 48** Confiabilidad final bomba de captación

Al tener que contar con instrumentos técnicos para la correcta ejecución del plan de mantenimiento preventivo, es necesario que el personal técnico involucrado directamente en el procedimiento tenga conocimientos sobre el uso adecuado de los mismos, así mismo es indispensable que cuenten con capacitaciones sobre el proceso.

**TABLA XXVIII**  
CRONOGRAMA DE CAPACITACIÓN

Ítem	Concepto de Capacitación	Meses											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Capacitación en planta desalinizadora de agua de mar	x						x					
2	Capacitación de la importancia del mantenimiento preventivo				x					x			
3	Capacitación de los EPP para el mantenimiento preventivo		x						x				
4	Lubricación				x					x			x
5	Rodamientos							x					x
6	Motores eléctricos							x					x
7	Electricidad industrial									x			

Nota: Cronograma de capacitación anual para el personal técnico.

En las siguientes tablas se muestran los prepuestos planificados, costo de capacitación del personal, junto a la inversión de protección de instrumentos y gasto anual.

**TABLA XXIX**  
COSTO DE CAPACITACIÓN

Ítem	Cantidad (und)	Precio(S/.)	Total(S/.)
Capacitación en planta desalinizadora de agua de mar	2	980	1960
Capacitación de la importancia del mantenimiento preventivo	2	1000	2000
Capacitación de los EPP para el mantenimiento preventivo	2	500	1000
Lubricación	3	570	1710
Rodamientos	2	700	1400
Motores eléctricos	2	1200	2400
Electricidad industrial	1	800	800
<b>Total(S/.)</b>	<b>14</b>		<b>11270</b>

Nota: Costo de los cursos para las capacitaciones del personal técnico.

**TABLA XXX**  
GASTOS ANUALES DE LA IMPLEMENTACIÓN 1

<b>Categoría</b>	<b>Ítem</b>	<b>Cantidad (und)</b>	<b>Precio(S/.)</b>	<b>Subtotal(S/.)</b>
	Overol	8	72.90	583.20
	Chaleco	8	59.90	479.20
	Guantes	8	24.90	199.20
	Casco	8	70.90	567.20
Equipos de Protección	Botas de seguridad	8	203.80	1630.40
	Protector auditivo	8	134.90	1079.20
	Mascara antigases	8	139.90	1119.20
	Barbiquejo	8	3.90	31.20
	<b>Total(S/.)</b>			<b>5688.80</b>

Nota: Costo de los gastos anuales para la implementación del plan de mantenimiento.

**TABLA XXXI**  
GASTOS ANUALES DE LA IMPLEMENTACIÓN 2

<b>Categoría</b>	<b>Ítem</b>	<b>Cantidad (und)</b>	<b>Precio(S/.)</b>	<b>Sub total(S/.)</b>	<b>Total(S/.)</b>
Equipos de emergencia	Botiquín primeros auxilios	5	50.90	254.50	654.50
	Medicamentos Variados	20	20	400	
	Jabón líquido (Galonera)	5	54	270.00	
Materiales de limpieza y desinfección	Ace (Paquete)	3	69.90	209.70	1429
	Alcohol 70° (Galonera)	3	49.90	149.70	
	Papel Higiénico (Paquete)	20	38.80	776.00	
	Lejía (Galonera)	2	11.80	23.60	
Útiles para oficina	Laptop	1	2100	2100	3696
	Impresora	1	699	699	
	Papel bond millar	2	17.50	35.00	
	Caja de lapiceros - 12u	1	13.40	13.40	
	Escritorio	1	470	470	
Insumos	Silla	1	379	379	3234.12
	Grasa SKF	8 latas	255	2040	
	Aceite hidráulico móvil iso68	4 baldes	298.53	1194.12	
Herramientas	Kit de llaves y dados	2	180	360	12283
	Kit alicates	2	269	538	
	Vibrómetro	1	4700	4700	
	Pirómetro	1	5000	5000	
	Bomba de llenado de grasa	1	1685	1685	
	<b>Total(S/.)</b>				<b>21297.02</b>

Nota: Costo de los gastos anuales para la implementación del plan de mantenimiento.

También se muestra el tipo de aceite y grasa a utilizar en bombas y motores, teniendo en cuenta que se trabaja a altas temperaturas y presiones, para la bomba de alta se tiene que utilizar 600ml y la bomba de baja 500ml de aceite y el cambio cada 2000 horas es decir cada 3 meses realizándose 4 cambios al año. Para los rodamientos del motor de la bomba de alta utiliza 100gr y el motor de la bomba de refuerzo 50gr; el cambio cada 2000 horas aproximadamente es decir cada 3 meses realizándose 4 cambios al año.

**TABLA XXXII**  
DEPRECIACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN

Descripción	Activos Total	Unidades	Valor Por Depreciar	Años Por Depreciar	Depreciación anual
Vibrómetro	4700	1	S/4,700.00	5	S/940.00
Pirómetro	5000	1	S/5,000.00	5	S/1,000.00
Bomba de llenado de grasa	1685	1	S/1,685.00	5	S/337.00
Kit de llaves y dados	360	2	S/360.00	5	S/72.00
Kit alicates	538	2	S/538.00	5	S/107.60
<b>Total</b>			<b>S/12,283.00</b>		<b>S/2,456.60</b>

Nota: Depreciación de los equipos a usar en el mantenimiento.

**TABLA XXXIII**  
PRESUPUESTO DE INVERSIÓN PARA PROTECCIÓN DE MAQUINARIAS

Item	Cantidad (und)	Precio	Total
Vibrómetro	1	S/120.00	S/120.00
Pirómetro	1	S/120.00	S/120.00
Bomba de llenado de grasa	1	S/120.00	S/120.00
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>		<b>S/360.00</b>

Nota: Costo para la protección de los equipos.

**TABLA XXXIV**  
RESUMEN DE COSTOS DE PRESUPUESTAS

	Inversión	Costo mensual	Depreciación mensual
Plan de RCM	S/15,517.12		S/204.72
Capacitación	S/11,270.00		
<b>Propuesta</b>		S/955.69	
Gastos anuales de la implementación			
Protección de maquinarias	S/360.00		
<b>TOTAL</b>	<b>S/27,147.12</b>	<b>S/955.69</b>	<b>S/204.72</b>

Nota: Resumen de los costos.

**TABLA XXXV**  
BENEFICIOS

<b>Pérdidas económicas por paradas de equipos</b>	<b>Actual</b>	<b>Mejora</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Costo por hora</b>	<b>Costo perdido</b>
Reducción de costo por mantenimiento preventivo	85.58	59.9	25.7	S/858.00	S/22,028.29
Reducción de costo por horas paradas	20.54	14.4	6.2	S/11.46	S/70.61

Nota: Beneficios de la aplicación del plan de mantenimiento.

**TABLA XXXVI**  
RESUMEN DE BENEFICIOS DE LAS PROPUESTAS

		<b>Beneficio Anual</b>
<b>PROPUESTA</b>	Reducción de costo por mantenimiento preventivo	S/22,028.29
	Reducción de costo por horas paradas	S/70.61
<b>TOTAL</b>		<b>S/22,098.90</b>

Nota: Resumen de propuesta.

**TABLA XXXVII**  
GASTOS ADMINISTRATIVOS

<b>Descripción</b>	<b>und</b>	<b>Gasto unitario (S/.)</b>	<b>Gasto total (S/.)</b>
Laptop	1	2100	S/2,100.00
Impresora	1	699	S/699.00
Papel bond millar	2	17.5	S/35.00
Caja de lapiceros - 12u	1	13.4	S/13.40
Escritorio	1	470	S/470.00
Silla	1	379	S/379.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/3,696.40</b>

Nota: Gastos administrativos el desarrollo del plan.

**TABLA XXXVIII**  
ESTADO DE RESULTADOS 1

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos		S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90
Costos operativos		S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69	S/955.69
Depreciación		S/204.72	204.72	S/204.72	S204.72	S204.72	S204.72	S204.72	S204.72	S/204.72	S204.72	S204.72	S/204.72
GAV		S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20	S/1,848.20
Utilidad antes de impuestos		S/19,090.29	S//19,090.29	S//19,090.29	/19,090.29	S//19,090.29	S/19,090.29	S//19,090.29	S//19,090.29	S//19,090.29	S//19,090.29	S//19,090.29	S//19,090.29
Impuestos (29.5%)		S/5,631.64	5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64	S/5,631.64
Utilidad después de impuestos		S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65
<b>Flujo de caja</b>													
Utilidad después de impuestos		S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65	S/13,458.65
Depreciación		S/204.72	204.72	S/204.72	S204.72	S204.72	S204.72	S204.72	S204.72	S/204.72	S204.72	S204.72	S/204.72
Inversion	S/27,147.12	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37
FNE	-S/27,147.12	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37	S/13,663.37
VAN	S/24,208.20												
TIR	49.94%	TMAR	24.73%										

Nota: En la tabla se puede observar que el VAN obtenido fue de S//24,208.20, con un TIR de 49.94%.

**TABLA XXXIX**  
ESTADO DE RESULTADOS 2

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos		S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90	S/22,098.90
Egresos	S/27,147.12	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53	S/8,435.53
VAN Ingresos	S/83,061.19												
VAN Egresos	S/58,853.00												
B/C	1.41												
Inflación (f)	8.70%	Riesgo (r)	0-10%	bajo									
			11-20%	medio									
			>20%	alto									
TMAR =	f + r + fxr												

Nota: Se obtuvo un beneficio/costo de 1.41, con una inflación del 8.70%, lo que quiere decir que por cada sol invertido se ganó 0.41 soles. [6]

## CONCLUSIONES

1. Después de realizar la implementación del plan de mantenimiento preventivo se logró un aumento de la confiabilidad en la empresa minera del 20.72%.
2. Antes de realizar la implementación en la planta desalinizadora de agua de mar, los indicadores iniciales para la disponibilidad fueron de 79.28%, la confiabilidad fue de 73.80%, el MTBF fue de 20.04 y el MTTR fue de 5.58. La implementación se realizó en base al plan de mantenimiento, registro de fallas, inspecciones deficientes, plan de capacitación, plan de presupuesto y beneficio.
3. Después de realizar la implementación en la planta desalinizadora de agua de mar, los indicadores finales para la disponibilidad fueron de 96.28%, la confiabilidad fue de 94.52%, el MTBF fue de 145.38 y el MTTR fue de 5.19, en donde se puede visualizar un incremento en la confiabilidad.
4. Al realizar la implementación del plan de mantenimiento preventivo se obtuvo un costo/beneficio de 1.41.

## **RECOMENDACIONES**

- Se debe de contar con personal altamente calificado y con experiencia o capacitado.
- Al momento de la inspección de los equipos tomar buenos valores en campo para que los diagnósticos sean más confiables.
- Se recomienda utilizar y actualizar por lo menos cada año todos los formatos con los que se administra la gestión básica de mantenimiento.
- Se recomiendan implementar políticas dentro de la organización para que faciliten la cultura de mantenimiento preventivo y no correctivo dentro del ámbito laboral de la empresa. Esto se puede realizar con charlas informativas al personal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] C. Lundgren, A. Skoogh y J. Bokrantz, "Quantifying the Effects of Maintenance – a Literature Review of Maintenance Models," *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 1305 - 1310, 2018. Accedido: 24 oct. 2021. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.175. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118303330?via%3Dihub>
- [2] G. Correia, F. Gomes, N. Garcia, R. Barros, A. Baptista y C. Vale, "Implementing a maintenance strategic plan using TPM methodology," *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol.11, no 3, 192-204, 2020. Accedido: 05 jun. 2021. doi: 10.24867/IJIEM-2020-3-264. [En línea]. Disponible en:  
<https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/18994>
- [3] Y. Requena. "Mantenimiento de la planta TEREX E150P para la producción de asfalto en el proyecto del Corredor Vial Interoceánico Sur Perú - Brasil," tesis de pregrado, Fac. Ingeniería mecánica, Univ. UNCP, Huancayo, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en:  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5673>
- [3] C. Herrera, "Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para optimizar el circuito de chancado en la Compañía Minera Chungar-Unidad Alpamarca," tesis de pregrado, Fac. Ingeniería mecánica, Univ. UNCP, Huancayo, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5277>
- [4] C. Herrera, "Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para optimizar el circuito de chancado en la Compañía Minera Chungar-Unidad Alpamarca," tesis de pregrado, Fac. Ingeniería mecánica, Univ. UNCP, Huancayo, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5277>
- [5] PEMEX, "Metodología análisis de criticidad(AC)". Docplayer. Accedido:05 jul. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/48701629-Metodologia-analisis-de-criticidad-ac.html>
- [6] Inflación en 2022 en Perú fue de 8.46%, la más de alta en 26 años (2023). [Internet]. Disponible en <https://www.eleconomista.com.mx/economia/Inflacion-en-2022-en-Peru-fue-de-8.46-la-mas-de-alta-en-26-anos-20230101-0009.html> [Consultado: enero 01, 2023]

## ANEXOS .



a)



b)



c)



d)

Anexo A. a) Mantenimiento preventivo de bomba de alta presión y refuerzo, b) Mantenimiento preventivo de motorreductor, c) Mantenimiento preventivo de motor de bomba superalimentadora, d) Toma de parámetros en bombas



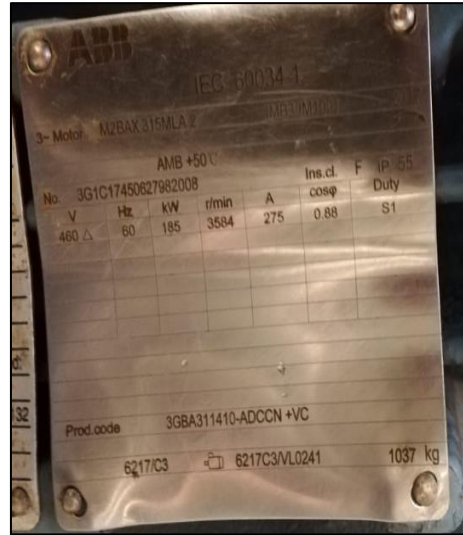
a)



b)



c)



d)

Anexo B. a) Placa característica de bomba de refuerzo, b) Placa característica de motor de bomba de refuerzo, c) Placa característica de bomba superalimentadora, d) Placa característica de motor de bomba superalimentadora.