



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad para  
aumentar la capacidad de producción en la red de oxígeno de una  
empresa industrial**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTORES:**

**Benites Farromeque, Luis Alberto (ORCID: 0000-0003-4403-7449)**

**Minaya Mollo, Víctor Mario (ORCID: 0000-0001-7158-8161)**

**ASESOR:**

**MSc. Sifuentes Inostroza, Teófilo Martín (ORCID: 0000-0001-8621-236X)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**Sistemas y Planes de Mantenimiento**

**Trujillo – Perú**

**2021**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedico a mi Madre, que es el pilar fundamental de mi vida, quien, con su amor, templanza y comprensión, me ha permitido equivocarme para aprender de mis errores, me ha enseñado a superar las dificultades de muchas maneras y su confianza en mí, es la fuerza inagotable para alcanzar con perseverancia cada uno de mis proyectos profesionales.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi guía y acompañarme cada día de mi vida.

A mi familia por brindarme su amor, confianza y apoyo para cumplir cada objetivo.

A cada uno de los docentes de la Universidad César Vallejo, quienes, a través de sus experiencias compartidas y su orientación constante, permitieron que alcance mi perfil profesional.

Asimismo, quiero agradecer a las personas que han contribuido de alguna manera con el desarrollo de mi investigación, la cual espero que contribuya y sirva de apoyo a otras tesis del mismo nivel de investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN:</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
El tipo de investigación es aplicada.....	14
3.2. Variables y operacionalización .....	14
3.3. Población, muestra y muestreo .....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos: .....	15
3.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	15
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos: .....	15
3.5. Procedimientos .....	16
3.6. Método de análisis de datos .....	16
3.7. Aspectos éticos.....	17
<b>IV. RESULTADOS:</b> .....	18
4.1. Evaluación para determinar los parámetros de mantenimiento iniciales ....	18
4.1.1 Calculo de la Disponibilidad mensual en Planta de oxígeno. ....	19
4.1.2 Cálculo de la confiabilidad mensual en planta de oxígeno. ....	22
4.1.3 Cálculo de la mantenibilidad mensual en Planta de Oxígeno. ....	23
4.2. Realizar un análisis de criticidad a los equipos de la red de oxígeno de la planta industrial, el análisis de modo y efecto de fallos y valuar el número de prioridad de riesgo. ....	24
4.2.1 Análisis de criticidad de las máquinas y equipos. ....	25

4.2.2. Establecer mediante el Análisis de modos y efectos de fallos (AMEF) y el Número de prioridad de riesgos (NPR), las fallas críticas preponderantes. ....	30
4.2.3. Número de Prioridad de Riesgos (NPR).....	35
4.3. Preparar el programa de mantenimiento. ....	36
4.3.1. Cables y motor eléctrico trifásico 1:.....	36
4.3.2. Compresor de aire.....	38
4.3.3. Tanque Igualador.....	40
4.3.4. Separador de Gases.....	42
4.3.5. Cables y motor eléctrico trifásico 2.....	44
4.3.6. Compresor de Oxígeno.....	44
4.3.7. Llenador de botellas de oxígeno.....	47
4.4. Determinar los parámetros nuevos de mantenimiento en R.C.M. ....	49
4.5 Realizar un análisis económico financiero.....	51
4.5.1. Beneficio económico por reducción de horas perdidas. ....	51
4.5.2. Costo por implementación del mantenimiento predictivo.....	52
4.5.3. Costos por implementación del mantenimiento preventivo.....	52
4.5.4. Beneficio útil: .....	53
4.5.5. Inversión en tecnología para la implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento. ....	54
4.5.6. Retorno operacional de la inversión (R.O.I.).....	54
<b>V. DISCUSIÓN:</b> .....	55
<b>VI. CONCLUSIONES:</b> .....	59
<b>VI. RECOMENDACIONES:</b> .....	61
<b>REFERENCIAS:</b> .....	62
<b>ANEXOS</b> .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criticidad: Criterios y cuantificación.....	9
Tabla 2: Determinación de los tiempos de mantenimiento y producción.....	18
Tabla 3: Cálculo de los tiempos netos mensuales en planta de oxígeno. ....	19
Tabla 4: Disponibilidad mensual en Planta de Oxígeno. ....	20
Tabla 5: Tiempos de mantenimiento y producción Planta Oxígeno. ....	21
Tabla 6: Cálculo de MTBF y MTTR .....	22
Tabla 7: Determinación de la Confiabilidad mensual en Planta de Oxígeno. ...	22
Tabla 8: Determinación de la Mantenibilidad mensual en Planta de Oxígeno...	24
Tabla 9: Resumen de análisis de criticidad. ....	25
Tabla 11: Hoja de información de Equipos de la red de oxígeno de una empresa industrial.....	31
Tabla 12: Tabla de análisis del NPR .....	35
Tabla 13: Indicadores post mejora. ....	49
Tabla 14: Beneficio económico por reducción de horas perdidas. ....	51
Tabla 15: Costos en mantenimiento predictivo de la instalación. ....	52
Tabla 16: Costos en mantenimiento preventivo de la Planta.....	52
Tabla 17: Resumen de los costos de mantenimiento. ....	53
Tabla 18: Inversión en activos fijos. ....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Matriz de criticidad. ....	10
Figura 2:Grados de criticidad. ....	10
Figura 3:Análisis de muestra. ....	14
Figura 4:Diagrama de disponibilidad mensual en Planta de Oxígeno, período julio 2020 – febrero 2021. ....	20
Figura 5: Diagrama de Confiabilidad mensual en Planta de Oxígeno. Período julio 2020 – febrero 2021. ....	23
Figura 6: Diagrama de Mantenibilidad mensual en Planta de Oxígeno. período julio 2020 – febrero 2021. ....	24
Figura 7:Distribución y conexión serie de equipos del sistema de generación, tratamiento y distribución de oxígeno industrial. ....	25
Figura 8:Indicadores de mantenimiento post mejora. ....	50

## RESUMEN

La investigación titulada Sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad para aumentar la capacidad de producción en la red de oxígeno de una empresa industrial, materia del presente estudio, se ha realizado en virtud de buscar mejorar la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y por ende la producción, de los equipos componentes que requieren de mejores estrategias de mantenimiento para ser eficientes.

Se ha iniciado el estudio, evaluando los indicadores de mantenimiento en la etapa actual, así se verificaron el MTBF, MTTR, índices de producción y los iniciales disponibilidad, confiabilidad y Mantenibilidad; posteriormente se ha realizado el estudio de criticidad a fin de clasificar los equipos como críticos, semi críticos y no críticos.

Deslindando las fallas críticas, se ha procedido a realizar un análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) y realizó el cálculo del NPR (Número de prioridad de riesgos) para establecer las fallas denominadas inaceptables, reducibles a deseables y aceptables, para que de esta manera poder asumir nuevos MTTR y MTBF para proyectar los indicadores post-mejora.

Para establecer nuevos indicadores, se ha plasmado un programa de mantenimiento basado en situación RCM para incrementar, básicamente, la confiabilidad o disponibilidad operacional.

Luego del estudio, se ha verificado mejoras ostensibles en los indicadores correspondientes.

Finalmente se ha efectuado el estudio de costos de implementación del sistema de gestión, beneficio que éste otorgaría y el tiempo de recuperación de la inversión para tal gestión.

Palabras clave: Sistema de gestión de mantenimiento, análisis de modo y efecto de fallas, programa de mantenimiento, indicadores de mantenimiento.



## **ABSTRACT**

The research entitled Maintenance management system based on reliability to increase the production capacity in the oxygen network of an industrial company, the subject of this study, has been carried out by virtue of seeking to improve availability, reliability, maintainability and therefore the production of component equipment that requires better maintenance strategies to be efficient.

The study has begun, evaluating the maintenance indicators in the current stage, thus the MTBF, MTTR, production indices and the initial availability, reliability and maintainability were verified; Subsequently, the criticality study has been carried out in order to classify the equipment as critical, semi-critical and non-critical.

Identifying the critical failures, a failure mode and effect analysis (FMEA) has been carried out and the calculation of the NPR (Risk Priority Number) has been calculated to establish the failures called unacceptable, reducible to desirable and acceptable, so that in this way to be able to assume new MTTR and MTBF to project the post-improvement indicators.

To establish new indicators, a maintenance program based on the RCM situation has been established to basically increase operational reliability or availability.

After the study, obvious improvements have been verified in the corresponding indicators.

Finally, a study has been carried out on the implementation costs of the management system, the benefit that it would provide and the investment recovery time for such management.

**Keywords:** Maintenance management system, failure mode and effect analysis, maintenance program, maintenance indicators.

## **I. INTRODUCCIÓN:**

El mantenimiento industrial ha sido considerado como la aplicación de una serie de normas y técnicas determinadas, cuyo fin es conservar los equipos e instalaciones de una industria y obtener un mayor rendimiento durante un prolongado período de tiempo (Remond, 2006). El mantenimiento industrial, siempre se ha basado en tomar un flujo de información adecuado entre los diferentes puntos del sistema, con las demás unidades funcionales, para cubrir sus objetivos con desempeño aceptable (UNE-EN 13460, 2008).

Habitualmente se encontraron que los planes de mantenimiento para los equipos en las plantas industriales fueron basados en recomendaciones del fabricante y determinados en periodos fijos (aplicado por políticas internas de la planta) o en última instancia empleando un mantenimiento correctivo (atendiendo las fallas en sus equipos). No obstante; las gerencias de mantenimiento han tomado conciencia del objetivo fundamental que es mantener sus activos de producción en la máxima disponibilidad y confiabilidad, asegurando una constante producción y calidad (Aguilar, Torres y Magaña, 2010).

A nivel internacional, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, RCM, se ha aplicado desde hace 30 años. En el Perú también hace algunos años, gran cantidad de empresas han venido desarrollando el RCM, luego de crear una cultura de mantenimiento, optimizando el mantenimiento preventivo con técnicas predictivas para detectar fallas a tiempo y programar mejor las labores de mantenimiento. Su finalidad es la de asegurar buenos parámetros para obtener adecuados indicadores de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad, garantizando así una producción al menor costo posible e incrementando la rentabilidad empresarial (Tavares, 2009).

Las industrias dedicadas a la producción de oxígeno (O<sub>2</sub>), no han sido ajenas a este requerimiento y, consecuentemente, el Mantenimiento Basado en la Confiabilidad fue tomado como parte del sistema productivo, sobre todo en las áreas industriales de metal mecánica y embotelladoras.

En Trujillo, han venido operando varias empresas que generan oxígeno industrial, con diferentes procesos como la compresión del aire atmosférico a 10 bar, la filtración del aire comprimido, la separación del nitrógeno, almacenamiento del  $O_2$  en baja presión, la filtración secundaria y finalmente la compresión a alta presión de 100 hasta 150 bar, para luego ser envasados en tanques especiales para su distribución y utilización, ver figura en anexo 1.

Tradicionalmente, el proceso de generación de oxígeno industrial, en baja presión se ha realizado por medio de los siguientes procesos: Compresión de aire en baja presión, cuyo aire comprimido pasa por un secador frigorífico en el cual se obtiene una reducción de la humedad absoluta del orden del 95%. A continuación, el aire comprimido seco es inyectado en un tanque con la función de estabilizar la presión. Luego, la separación del nitrógeno del aire comprimido se realiza por medios físicos y químicos en un sistema compuesto por dos tanques conectados en serie, quedando oxígeno con pureza de 95 a 98%, en baja presión; el almacenamiento del oxígeno en baja presión en un tanque, se realiza con el fin de estabilizar la presión y reducir la turbulencia que se generó en los procesos anteriores. Después de salir del tanque de almacenamiento, el oxígeno en baja presión pasa por el post filtro de material cerámico, para eliminar las impurezas que pudieron introducirse luego de la separación del nitrógeno. En la compresión del oxígeno en alta presión, se ha observado una variación desde 10 bares manométricos y 10 °C, hasta 100 bares manométricos y 25 °C, con pureza de 98% y sin humedad. Por último, en el llenado y despacho de balones de oxígeno de 10 m<sup>3</sup> de aire libre, se ha verificado la presión y el peso en balanza de plataforma normalizada.

En la ciudad de Trujillo, desde algún tiempo existe una planta que dispone de una red de oxígeno industrial, con capacidad de 3.5 m<sup>3</sup>/min y una presión de 100 bar para el envasado del gas a los cilindros. En el anexo 1, se presenta el esquema del proceso de generación, tratamiento y despacho del oxígeno industrial de nuestra planta en Trujillo.

A través de esta tesis, se ha verificado que la planta de  $O_2$  seleccionada, presentaba múltiples fallas en sus equipos, con una duración de una hora hasta

dos días, dependiendo del tipo de falla. Estos hechos se han suscitado debido a que la empresa no ha tenido un adecuado mantenimiento industrial y generalmente han recurrido solamente al mantenimiento correctivo.

También se ha observado que el sistema productivo de O<sub>2</sub> se ha venido realizando sin descanso, atendiendo el incremento de la demanda de oxígeno industrial, generando sobrecalentamiento de los equipos y desgaste en los elementos de compresión del oxígeno, los mismos que literalmente deben descansar entre 15 a 20 minutos/hora, sin embargo, técnicamente no se cumple debido a su alta demanda. Dado que estos problemas se han venido presentando en dicha planta, se ha verificado que la empresa industrial pierde alrededor de 150,000 soles al año, por no poder atender el incremento de demanda, debido a fallas del sistema y su consecuente fuera de servicio de los equipos.

Por lo tanto, de acuerdo a lo anteriormente citado, se ha propuesto efectuar un estudio para determinar la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad, a fin de garantizar la seguridad de operación en el tiempo y eliminar las fallas; obteniendo de esta manera un aumento de la producción de oxígeno y asegurando un retorno de la inversión a realizar.

Por la información del personal técnico de la planta de oxígeno referente, se determinaron algunos indicadores genéricos como la disponibilidad anual del sistema de 90%, la confiabilidad solamente alcanzó el 20% en 1000 horas y la mantenibilidad, 15 a 16 horas por falla. Estos valores se consideraron bajos, pues la disponibilidad anual debe ser mayor a 95%, la confiabilidad debe ser mayor a 75% en 1000 horas y la mantenibilidad debe ser menor a 3 horas/falla, es decir deben ser fallas de corta duración (Sexto, 2012).

De acuerdo a lo expuesto en la realidad problemática del presente estudio, se ha procedido a *formular el problema*, de la siguiente manera: ¿Cómo aumentar la capacidad de producción en una red de oxígeno industrial?

A continuación de haber formulado el problema, se ha podido establecer una *hipótesis* de la siguiente manera: Mediante la implementación de un sistema de

gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad, sí se aumentará la capacidad de producción en la red de oxígeno de una empresa industrial.

En el análisis de la investigación, al implementar una metodología RCM, se ha buscado justificarla teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: *justificación económica*: Al realizar el sistema de gestión de mantenimiento basado en el RCM, es posible reducir pérdidas económicas que significa disminución de costos por paradas de mantenimiento correctivo en períodos de producción. *Justificación metodológica*: Al aplicar estrategias propias de un sistema de gestión de mantenimiento como la Criticidad, AMEF (Análisis de modos y efecto de fallas) y NPR (Número de prioridad de riesgos), se pueden identificar las fallas más preponderantes que ocasionan baja producción. *Justificación laboral*: El desempeño se incrementará en un ambiente laboral de seguridad en cuanto a la operatividad, incrementando la producción de oxígeno con la participación del personal capacitado. *Justificación institucional*: Al desarrollar un sistema a nivel empresarial para el mantenimiento basado en la confiabilidad, se establecen nuevos indicadores y mejores prácticas para la gestión de activos industriales que determinarán la reducción de pérdidas de producción. *Justificación social y ambiental*: Gracias a la implementación del RCM, se identificarán las causas que originan pérdidas de producto terminado que constituyen remanentes residuales de O<sub>2</sub> que son evacuados y perjudiciales al medio ambiente.

Se estableció como *objetivo general*, determinar la viabilidad técnica económica de aplicar un sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad, para incrementar la capacidad de producción en la red de oxígeno de una empresa industrial. Para llegar a esta determinación, se ha tenido en cuenta como *objetivos específicos* a los siguientes: (1) Realizar una evaluación para determinar los parámetros de mantenimiento iniciales; (2) Elaborar un estudio analítico de criticidad para luego establecer mediante un AMEF y el número de prioridad de riesgo, las fallas críticas preponderantes; (3) Preparar el plan de mantenimiento; (4) Determinar los nuevos parámetros de mantenimiento en RCM; y (5) Realizar un análisis económico financiero.

## II. MARCO TEÓRICO

Para la investigación, se han tomado como referencia algunos trabajos previos, cuyo aporte es significativo para su desarrollo:

En un trabajo de investigación Luna (2019), el autor implementó un mantenimiento, aplicando la metodología basada en la confiabilidad a sus compresores estacionarios tipo tornillo en la minera Toquepala. Comenzó realizando un estudio de criticidad de los compresores que se encuentran en diferentes áreas; dentro de una planta concentradora, identificando los equipos más críticos. Luego procedió a realizar un estudio de análisis de modos y efectos de falla, para poder identificar cuáles son los problemas por los cuales adolecían de estos fallos; iniciando desde su contexto operacional, identificando además que el 32.1% presentaban fallas eléctricas por lo que presentaban paradas inesperadas, causando que se retrasen los procesos, peor aún que no contaban con equipos de espera ni tareas proactivas. Luego de haber identificado todos los efectos de fallas que pasaban los equipos más críticos, procedió a implementar planes de mantenimiento basado en la metodología de la confiabilidad y luego de medir sus nuevos indicadores, lograron aumentar sus índices de disponibilidad en los equipos modelo GR200 y GA160 en un 99.70% y 99.65%, además de ello también determinó los repuestos críticos para que existan en almacén, logrando así aumentar su confiabilidad por sus tiempos innecesarios de paradas, minimizando su mantenibilidad y reduciendo sus costos por mantenimiento.

En otro trabajo de investigación Vílchez (2019), el autor basó su estudio sobre gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad, con el fin de minimizar sus fallas en sus motores de compresión a gas y poder incrementar mediante indicadores de mantenimiento su disponibilidad de los equipos. Identificó sus equipos críticos mediante un estudio de criticidad, logrando priorizar los más defectuosos; como el pistón, la culata, el cigüeñal, la cruceta, los rodamientos, luego paso por un análisis modal de efectos y fallas con el fin de identificar sus efectos de sus modos de fallas, encontrando en los motores a compresión a gas 06 fallas potenciales de las 08 fallas potenciales. Logrando de esta manera reducir de 617 horas a 127 horas por año de trabajo en mantenimiento, como consecuencia redujeron las pérdidas económicas por mantenimiento, después de haber aplicado

un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad y dar solución a sus equipos críticos, además de minimizar sus tiempos de operación.

Por su parte, el autor Belli (2018), desarrolló una propuesta de gestión de mantenimiento fundamentado en confiabilidad a los motores a gas que funcionan en los generadores de energía eléctrica, con el fin de disminuir las paradas no programada de la central térmica durante la operación. Luego de emplear el mantenimiento fundamentado en confiabilidad a los motores a gas permitió conocer y registrar los riesgos relevantes para el buen funcionamiento de los motores y la raíz de riesgo, mediante el análisis de criticidad a los tres motores de combustión interna, observo que más del 50% de partes del equipo son críticos, debiendo tener un mayor control según su estado de conservación. De los equipos estudiados por su tiempo de operación se encontró en la etapa media de la curva de la bañera, siendo este el parámetro beta de la distribución de Weibull, en este mismo programa uso el indicador tiempo medio entre fallas para determinar la frecuencia optima de intervención de cada uno de los motores, determinó la tasa interna de retorno y el valor actual neto para la viabilidad del proyecto. Al término del estudio luego de plantear una propuesta demostró que, aunque el incremento de la disponibilidad de los equipos que funcionan en los generadores de energía eléctrica sea solo del 1%, el impacto económico en la empresa es considerable determinando la factibilidad económica de realizar el proyecto.

En esta investigación Idrogo (2016), el autor realizó la aplicación de un mantenimiento en base a confiabilidad. El estudio lo realizó en una planta de procesos térmicos, con la finalidad de incrementar la disponibilidad en sus motores asíncronos trifásicos, utilizando la metodología de análisis de modos y efectos de fallos (AMEF) y adicionalmente la aplicación de un análisis de criticidad. Primero realiza un análisis actual del mantenimiento a 185 motores en operación constante durante el año 2015, que generaban pérdidas en horas de reparación durante la producción, logrando determinar el porcentaje de los indicadores de mantenimiento. Luego realiza un estudio de criticidad de los elementos del motor teniendo en cuenta seis criterios, considerando los factores de frecuencia de fallas y factores de consecuencia determinando costos de producción y mantenimiento, así como el personal de mantenimiento, la seguridad y el ambiente. Procede a

elaborar las hojas de información y decisiones dirigidas para los trece modos de fallas de cada uno de los elementos tanto críticos y semicríticos, finalmente propone un programa de actividades de mantenimiento, centrados en confiabilidad. Sus resultados muestran que, luego de implementar el mantenimiento basado en la confiabilidad, aumentan sus indicadores de mantenimiento, así mismo logró una reducción en los costos generales.

En forma similar el autor Moreno (2017), mejoró los índices de mantenimientos iniciales de un compresor estacionario Atlas Copco de tornillo de una etapa; realizó un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), obteniendo un diagnóstico del contexto operacional actual, conociendo en detalle la operatividad del compresor siendo elemental y crítica para la producción en la planta. Luego aplicó el análisis de modo y efectos de falla (AMEF), identificando en sus sistemas principales las funciones primarias del compresor y sus fallos funcionales. Alcanzando a detectar 47 modos de fallo y sus efectos en ellos, procedió a evaluar los indicadores de mantenimiento en función de los parámetros actuales del compresor, encontrando críticos al 42.55% siendo la mayoría en el sistema eléctrico, debiendo tener un buen control según el estado de conservación en los componentes del sistema, y el stock de los repuestos necesarios. Aplica el análisis de criticidad total por riesgo (CTR), Utilizó el Diagrama de Decisión (RCM), logra elaborar 15 hojas con decisiones referidas a los modos de falla críticos, evaluando sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, proponiendo varias tareas considerando intervalos de tiempo y el personal responsable para las tareas.

Elaboró el nuevo Plan de Mantenimiento fundamentándose en los resultados de las hojas de decisión y algunas recomendaciones por parte del fabricante, proponiendo las tareas principales para el mantenimiento de cada sistema del compresor y los intervalos para su ejecución. Luego de comparar los parámetros se obtuvo nuevos indicadores logrando un incremento de disponibilidad en 25%, confiabilidad en 3% y la mantenibilidad en 9%.

Se encontró un trabajo de investigación Mkalaf (2017), en la cual el autor realizó su estudio en gestión de mantenimiento, investiga la relación entre la confiabilidad de equipos médicos críticos y las estrategias de gestión de



mantenimiento que influyen en los pacientes de un hospital público. El autor diseñó el marco conceptual analizando las relaciones entre 5 variables: tipos de estrategias de gestión de mantenimiento, prácticas de mantenimiento, confiabilidad del equipo, costos de mantenimiento y resultados del paciente. Centró su estudio en 14 tipos diferentes de equipos. Evaluó el desempeño mediante investigaciones cualitativas y cuantitativas para examinar tasas de fracaso y sus efectos. Finalmente utilizó los parámetros para medir la disponibilidad, recabando una gran cantidad de datos para determinar su confiabilidad. Los resultados mostraron que existe una correlación significativa entre el mantenimiento actual, las estrategias de manejo y la confiabilidad del equipo médico crítico que afecta los resultados de los pacientes. Ya que pudo observar que las fallas de los equipos que están en servicio ocasionan lesiones y hasta casos de muerte del paciente.

Luego de haber presentado los trabajos previos que se describieron líneas arriba, a continuación, se identifican los **conceptos** suficientes que reforzarán la formulación, desarrollo y comprensión de esta investigación. La primera definición a mostrar es el ***mantenimiento basado en la confiabilidad*** (RCM), desde su publicación en el año de 1978 y su ingreso como norma para programas de mantenimiento a SAE en 1997, continúa siendo uno de las metodologías más importantes referidos al manejo de los activos físicos ayudando no sólo a la industria de aviación sino también a otras importantes industrias (Moubray, 2004).

El método RCM desarrolla un análisis de decisión empleando un conjunto de pasos secuenciados y ordenados de manera lógica, con la finalidad de identificar y deducir los riesgos más destacados en el funcionamiento del sistema, desarrollando medios de mitigación y preservando su funcionamiento. El análisis que se inicia a través de una evaluación de los modos de fallos, causas, tipos y consecuencias, permite una mejor comprensión del funcionamiento del sistema, dando a conocer lo que hace, lo que no hace y la forma de cómo abordar riesgos inaceptables de fracaso (Goodfellow, 2000); Luego se procede a estudiar los efectos de cada modo de fallo en relación al impacto de este en seguridad, medio ambiente, operación y costo (Moubray, 2004).

Un tratado preponderante en mantenimiento constituye **el análisis de criticidad**, que es una técnica que sirve para jerarquizar los equipos, instalaciones y sistemas. Esta evaluación se toma en función de las ocurrencias de falla y la calificación de su impacto en las áreas de seguridad, operativa, medio ambiente y económica. Sirve como instrumento para tomar decisiones y direccionar mejor los recursos y esfuerzos de la empresa (Agüero y Calixto, 2007).

Tabla 1: Criticidad: Criterios y cuantificación.

<b>Criterios para determinar la criticidad</b>	<b>Cuantificación</b>
<b>Frecuencia de fallas:</b>	
Mayor a 4 fallas/mes	4
2...4 fallas/mes	3
1...2 fallas/mes	2
Mínimo 1 falla/mes	1
<b>Impacto operacional</b>	
Parada inmediata de toda la empresa	10
Parada de la planta (recuperable en otras plantas)	8
Impacto en los niveles de producción o calidad	6
Repercute en costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	3
No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás operaciones	1
<b>Flexibilidad operacional</b>	
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	5
Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	4
Hay opción de repuesto compartido	3
Función de repuesto disponible	1
<b>Costo de mantenimiento</b>	
Mayor o igual a USA \$ 3,000	2
Menor a USA\$ 3000	1
<b>Impacto en la Seguridad Humana y Ambiental</b>	
Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones o personas causando daños severos	4

Fuente: Agüero y Calixto, 2007.

Criticidad total = Frecuencia x Consecuencia **Ecuación 1**

Criticidad total = Frecuencia x [(Impacto Operacional \* Flexibilidad) + Costo Mantenimiento + Impacto SEH] **Ecuación 2**

Luego de obtener la criticidad total, se determina el grado de criticidad para todos los elementos estudiados mediante una matriz, como se indica en la figura 2.

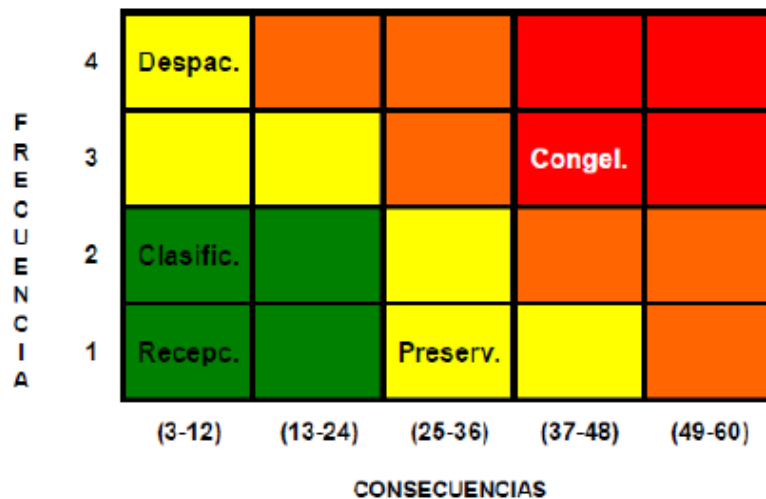


Figura 1: Matriz de criticidad.

La matriz de criticidad, está representada por una gama de colores determinando su grado de criticidad.

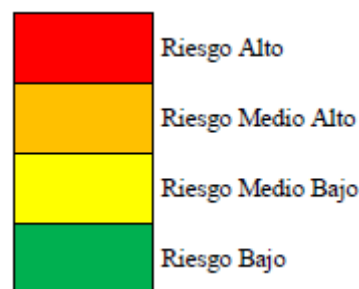


Figura 2: Grados de criticidad.

Identificados los equipos críticos, el siguiente paso en el RCM lo constituye el **Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial (AMEF)**, que es una técnica de prevención, utilizada para detectar por anticipado los posibles modos de falla, con el fin de establecer los controles adecuados que eviten la ocurrencia de defectos, su objetivo identificar los modos de falla potenciales y lo que podría pasar con su efecto, se toman los controles para identificar las causas cuando estas ocurren luego de identificar los modos de falla posible, luego es clasificado en un orden de acuerdo a su deficiencia del activo, está enfocada a su prevención y eliminación de la misma (Alonso, 2014).

El acondicionamiento del AMEF de preferencia debe llevarse a cabo por un equipo multidisciplinario, como: el ingeniero responsable del sistema y representantes de las diferentes áreas de manufactura, ensamble, diseño, confiabilidad, calidad, servicio, proveedores y otros responsables convenientes (Alonso, 2014).

Luego de aplicado y conocido los modos de fallas y efecto de cada fallo, se calcula el **Número de Prioridad de Riesgo** (NPR), con el que se establece un valor para la jerarquización de los problemas, este valor se obtiene multiplicando el grado de ocurrencia, severidad y detección. Con esto podemos identificar donde podemos atacar los modos de falla previa jerarquización, conociendo los elementos más graves.

NPR = Grado de Ocurrencia \* Severidad \* Detección.

Prioridad de NPR:

- 500 – 1000: Alto riesgo de falla.
- 125– 499: Riesgo de falla medio.
- 1 – 124: Riesgo de falla bajo.
- 0: no existe riesgo de falla.

Aquellos que tengan un NPR alto debe darse prioridad, así como a los que tengan un alto grado de ocurrencia sin importar su NPR sea alto o bajo (Alonso,2014).

Otros indicadores de gran importancia que nos permitirá medir la situación actual del mantenimiento y recalculan los nuevos parámetros son:

- **Confiabilidad**, es la probabilidad que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes, está determinada a partir de la información del registro de paros, ésta se determina para un período de tiempo, el cual puede ser semanal, mensual, anual, etcétera, y bajo el contexto operacional en el cual opera el activo o el sistema (Álvarez, 2017).

Representada por:

$$C(t) = (e^{-\lambda * TTP / 100}) * 100\% \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

C(t) = Confiabilidad %

TTP = Tiempo total de estudio (Hrs).

$\lambda$  = Tasa de fallas (Fallas/Hr).

e = 2.303... (constante neperiana).

- **Disponibilidad**, está dado por el porcentaje del tiempo en que un equipo o sistema se encuentra listo para su funcionamiento o producción, para sistemas con operación continua, también se define como la posibilidad del activo que paso por mantenimiento funcione óptimamente o esté disponible durante un tiempo dado (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006).

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

D(t) = Disponibilidad.

MTBF = Tiempo medio entre fallas.

MTTR = Tiempo medio para reparación.

- **Mantenibilidad**, se define como la expectativa de que un equipo o sistema sea colocado en condiciones de operación en un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento se ejecuta teniendo en cuenta procedimientos previamente establecidos (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006).

$$M(t) = 1 - (e^{-\mu * T / 100}) * 100\% \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

M(t) = Mantenibilidad.

$\mu$  = tasa de reparaciones.

T = tiempo total del estudio (Hrs).

e = 2.718281828 (constante neperiana).

Para calcular los tiempos en el mantenimiento se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- **Tiempo medio entre fallas (MTBF)**, tiempo total que funciona el activo sin fallar sobre el número total de eventos (tiempo total que funciona el activo más el tiempo que estuvo parado para reparaciones.

$$MTBF = \frac{h_T}{p} \quad \text{Ecuación 6}$$

- **Tiempo medio para reparar (MTTR)**, tiempo que se espera por reparación para que dicho activo vuelva a funcionar satisfactoriamente.

$$MTTR = \frac{h_p}{p} \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:  $h_T$ : horas trabajadas o de marcha durante el período de evaluación,  
 $p$ : número de paros durante el período de evaluación,  
 $h_p$ : horas de paro durante el período de evaluación  
 (Tavares,2004).

- **Tasa de fallos**, que representa el número de fallas en un determinado tiempo. La determinamos por:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \text{Ecuación 8}$$

En dónde:  $\lambda$ : tasa de fallos/horas,  
 MTBF: Tiempo medio entre fallos (Duffuaa,2005)

- **Tasa de reparaciones**, se calcula para medir las reparaciones por unidad de tiempo. La determinamos por:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad \text{Ecuación 9}$$

En donde:  $\mu$ : tasa de reparaciones, MTTR: tiempo medio para reparar  
 (Reyes y Ocampo, 1996)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

**El tipo de investigación es aplicada.**

El diseño de investigación es pre - experimental, se efectuará la revisión de los registros de fallos de los equipos de la red de oxígeno industrial, a los cuales se hará una sola observación de los últimos meses, para la medición de sus parámetros actuales de mantenimiento y su capacidad de producción a fin de establecer la relación con el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.

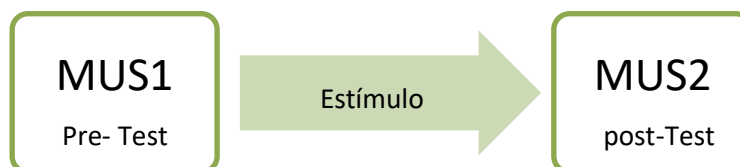


Figura 3: Análisis de muestra.

Fuente: Elaboración propia.

PM: Análisis de muestra

EST: Sistema de mantenimiento RCM

MUS1, MUS2: Porcentaje de observaciones de incremento en la disponibilidad.

#### 3.2. Variables y operacionalización

La variable es de tipo **cuantitativo**, dado que, en su matriz de operacionalización de variables, se consideró su definición conceptual, definición operacional, dimensiones, indicadores y su escala de medición (ver anexo 2).

##### **Variable independiente:**

Sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Análisis de criticidad.

Análisis modal de efectos y fallas (AMEF).

Numero de prioridad de riesgo (NPR).

##### **Variable dependiente:**

Incremento de la capacidad de producción.

Confiabilidad.

Disponibilidad.

Mantenibilidad.

### 3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Plantas de oxígeno Industrial.

Muestra: Planta de oxígeno de Empresa Industrial de la ciudad de Trujillo.

Muestreo: No probabilístico – muestreo por conveniencia.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

#### 3.4.1 Técnicas de recolección de datos.

**Análisis documental**, mediante esta técnica nos permitió poder clasificar la información que se registraron (fallas y frecuencia de paradas de equipos), así como también del cuaderno de reporte de los operadores, donde se detallan las averías suscitadas, durante la operación de los equipos para la generación de oxígeno.

**Encuesta**, realizada a los operadores de planta de oxígeno, obteniendo datos de fuente primaria, mediante el establecimiento de contacto con el sistema técnico en observación, empleando los cuestionarios previamente establecidos, con ello se logró identificar los parámetros de operación, las características técnicas y de mantenimiento de los equipos del sistema de generación de oxígeno.

#### 3.4.2 Instrumentos de recolección de datos:

**Ficha de registro de datos**, como instrumento para el análisis documental, donde se muestra el comportamiento de las fallas ocurridas durante su operación (anexo 3).

**Cuestionario**, compuestos por un grupo de preguntas sobre las variables a medir del sistema de oxígeno, y que fueron elaborados según los objetivos de la investigación (anexo 4).



### **3.5. Procedimientos**

La presente investigación se desarrollará en tres fases.

- Primera fase: Se realizó mediante la planificación de las actividades a fin de dar cumplimiento a la investigación, se elige la documentación bibliográfica que conforma el marco teórico para definir las categorías de sistemas de generación de oxígeno.
- Segunda Fase: Para el desarrollo de la investigación, a través de las técnicas establecidas anteriormente, se llevó un registro de los hechos, mediante una entrevista estructurada con preguntas abiertas, se recabará información de los reportes de fallos, los mismos que pasarán por un análisis de criticidad teniendo en cuenta los criterios para determinarla, seguido de un análisis modal y efectos de fallo (AMEF), analizando sus fallas ocasionadas y mediante un numero prioritario de riesgo (NPR) poder priorizar los equipos aplicando la matriz de evaluación, luego se aplica el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad, para caracterizar y categorizar el sistema de generación de oxígeno.
- Tercera fase: Se efectuó el análisis, interpretación e integración de los resultados obtenidos al hacer la ingeniería básica. Se utilizarán las fichas de investigación documental y revisión de la literatura de especialidad para hallar una solución al problema planteado, luego se someterán los resultados a una discusión para el análisis comparativo con otros métodos técnicos que pueden ser empleados.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Se emplearon técnicas cualitativas, en las que los datos se presentan de manera verbal o gráfica, como textos de entrevistas, cuaderno de reporte, los documentos.

Se emplearon técnicas cuantitativas: en las que los datos se presentan en forma numérica, empleando los indicadores de mantenimiento, apoyado del software Excel para realizar los cálculos a fin de determinar el modelo a aplicar de mantenimiento en RCM para la mejora de la Planta de oxígeno.

### **3.7. Aspectos éticos**

Toda la información presentada es original, sin plagio de ningún tipo, se respeta a las personas que se entrevista, así como la propiedad intelectual de la empresa ya que sus datos y testimonios obtenidos son de absoluta confidencialidad.

## IV. RESULTADOS:

### 4.1. Evaluación para determinar los parámetros de mantenimiento iniciales

Para analizar la capacidad de operación, la seguridad de operación y la facilidad de mantenimiento de la planta de oxígeno, se determinan los tres parámetros de mantenimiento, como son la Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad.

Los datos que se utilizan han sido tomados de la Planta de oxígeno evaluada, del 2020 e inicios del 2021; como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Determinación de los tiempos de mantenimiento y producción.

<b>TIEMPOS DE MANTENIMIENTO Y PRODUCTIVOS PLANTA OXÍGENO</b>					
Ítem	MES-año	Tiempo calendario	Tiempo proyectado de producción	Tiempo mantenimiento preventivo	Tiempo mantenimiento correctivo
		h/mes	h/mes	h/mes	h/mes
1	Jul-20	744	732	12	17.2
2	Ago-20	744	732	12	15.4
3	Set-20	720	708	12	14.3
4	Oct-20	744	732	12	15.6
5	Nov-20	720	708	12	17.15
6	Dic-20	744	732	12	16.2
7	Ene-21	744	732	12	17.1
8	Feb-21	672	660	12	16.5
	<b>TOTAL</b>	<b>5832</b>	<b>5736</b>	<b>96</b>	<b>129.45</b>

Fuente: Planta de Oxígeno

La Planta de oxígeno realiza mantenimiento preventivo de 1/2 día (12 h) por mes solamente, por la alta demanda de oxígeno de calidad medicinal e industrial.

Con los datos de tabla 2, se determina el tiempo efectivo de operación productiva, en que se produce oxígeno,  $T_{neto-operación}$ :

$$T_{po-neto-oper} \left[ \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right] = T_{po-calend} \left( \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right) - T_{po-Mantto-Prev} \left( \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right) - T_{po-Mantto-Correct} \left( \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \right)$$

De la ecuación anterior:

- Tpo-calend: Tiempo calendario, totalidad de horas del mes, h/mes
- Tpo-Mantto-Prev: Tiempo de mantenimiento preventivo, h/mes
- Tpo-Mantto-Correct: Tiempo de mantenimiento correctivo, h/mes

Tabla 3: Cálculo de los tiempos netos mensuales en planta de oxígeno.

Ítem	MES	TIEMPO CALENDAR.	TIEMPO M. PREVENT	TIEMPO M. CORRECT	NETO
1	Jul-20	744	12	17.2	714.8
2	Ago-20	744	12	15.4	716.6
3	Set-20	720	12	14.3	693.7
4	Oct-20	744	12	15.6	716.4
5	Nov-20	720	12	17.15	690.85
6	Dic-20	744	12	16.2	715.8
7	Ene-21	744	12	17.1	714.9
8	Feb-21	672	12	16.5	643.5
	<b>PROMEDIO</b>	<b>729</b>	<b>12</b>	<b>16.18</b>	<b>700.82</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1 Cálculo de la Disponibilidad mensual en Planta de oxígeno.

Con los datos obtenidos en la tabla anterior (tabla 3) se procedió a realizar los cálculos de la disponibilidad mensual en la planta industrial de Oxígeno.

$$D (\%) = (\text{Tiempo neto de operación} / \text{Tiempo proyectado de operación}) * 100$$

Dónde:

D (%) = Disponibilidad.

Tabla 4: Disponibilidad mensual en Planta de Oxígeno.

Ítem	MES	Tiempo proyectado de producción	Tiempo neto de producción	DISPONIBILIDAD %
		h/mes	h/mes	
1	Jul-20	732	714.8	97.65
2	Ago-20	732	716.6	97.90
3	Set-20	708	693.7	97.98
4	Oct-20	732	716.4	97.87
5	Nov-20	708	690.85	97.58
6	Dic-20	732	715.8	97.79
7	Ene-21	732	714.9	97.66
8	Feb-21	660	643.5	97.50
	<b>PROMEDIO</b>	<b>717</b>	<b>700.82</b>	<b>97.74</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$D_{PlantaO_2-2020_1} = \frac{\sum_{i=1}^8 D_{PlantaO_2-i}}{n} = 97.74 \%$$

$$\text{Indisp} = 100 - D_{planta} = 100 - 97.74 = 2.26 \%$$

Donde:

Indisp = Indisponibilidad de planta.

Se observa que, en el período evaluado; la indisponibilidad de Planta de Oxígeno fue de 2.26 % del tiempo programado, por fallas que ocasionaron pérdida de producción.

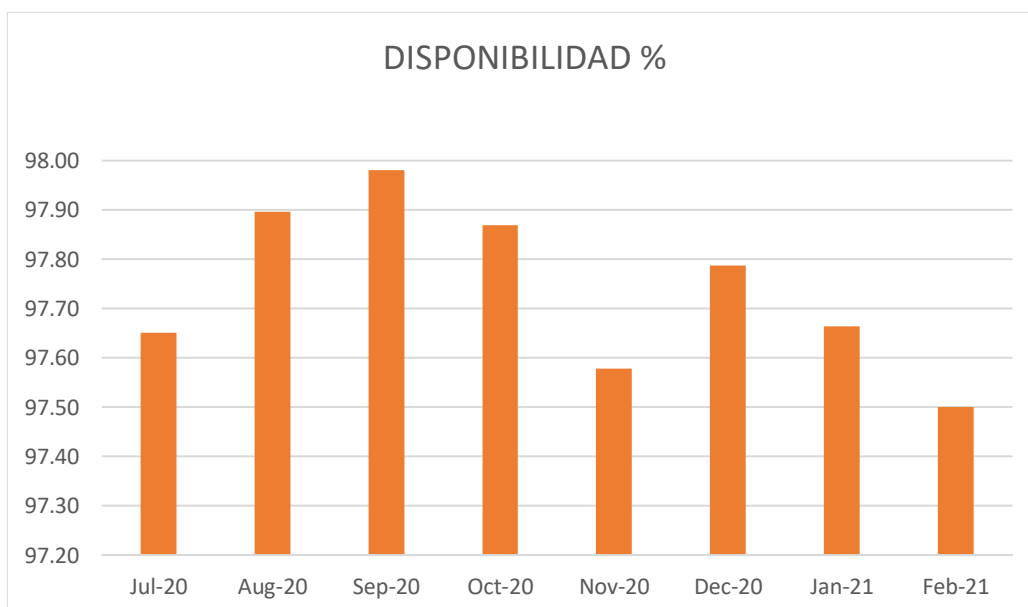


Figura 4: Diagrama de disponibilidad mensual en Planta de Oxígeno, período julio 2020 – febrero 2021.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detalla los registros de datos de operación y tiempos de reparación, que nos servirán para poder hallar los tiempos promedio entre falla y tiempo promedio para reparar, son presentadas en la tabla 5.

Tabla 5: Tiempos de mantenimiento y producción Planta Oxígeno.

Item	MES-año	Tiempo proyectado de producción			Frecuencia de fallas	Falla 1	Falla 2	Falla 3	Falla 4	Tiempo mantenimiento correctivo
		Días/mes	h/día	h/mes	Veces/mes	h/vez	h/vez	h/vez	h/vez	h/mes
1	Jul-20	30.5	24	732	3	6	4.7	6.5		17.2
2	Ago-20	30.5	24	732	3	5.75	4.4	5.25		15.4
3	Set-20	29.5	24	708	4	2.75	4.15	3.7	3.7	14.3
4	Oct-20	30.5	24	732	4	3.25	4.25	5.35	2.75	15.6
5	Nov-20	29.5	24	708	4	3.5	4.5	5.5	3.65	17.15
6	Dic-20	30.5	24	732	3	5	4.7	6.5		16.2
7	Ene-21	30.5	24	732	4	4.25	3.75	5.6	3.5	17.1
8	Feb-21	27.5	24	660	4	4.5	3	5.25	3.75	16.5
	<b>PROM.</b>	<b>29.88</b>	<b>24</b>	<b>717</b>	<b>3.63</b>					<b>16.18</b>

Fuente: Elaboración Propia

Se procede a realizar el cálculo de Tiempo medio entre fallas (**MTBF**) y Tiempo promedio para la reparación (**MTTR**) para poder hallar más adelante la confiabilidad y la mantenibilidad de los equipos.

*MTBF = N° de horas de operación / N° de paradas correctivas*

*MTTR = Tiempo total de reparaciones correctivas/N° dereparacionescorrectivas.*

Tabla 6: Cálculo de MTBF y MTTR

Item	MES - año	hrs operac	N° paradas	MTBF	Tiempo	MTTR
					Mant. Correctivo	
1	Jul-20	732	3	244	17.2	5.73
2	Ago-20	732	3	244	15.4	5.13
3	Set-20	708	4	177	14.3	3.58
4	Oct-20	732	4	183	15.6	3.90
5	Nov-20	708	4	177	17.15	4.29
6	Dic-20	732	3	244	16.2	5.40
7	Ene-21	732	4	183	17.1	4.28
8	Feb-21	660	4	165	16.5	4.13
	<b>PROMEDIO</b>	<b>717</b>	<b>3.63</b>	<b>197.79</b>	<b>16.18</b>	<b>4.46</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.2 Cálculo de la confiabilidad mensual en planta de oxígeno.

Se procedió a realizar el cálculo de la confiabilidad de los equipos en la planta de oxígeno a partir de los datos obtenidos en la tabla 6.

La confiabilidad puede ser expresada a través de la expresión:

$$C(t) = (e^{-\lambda * TTP/100}) * 100\%$$

Dónde:

- C(t): Confiabilidad %
- TTP: Tiempo total de estudio (Hrs).
- $\lambda$ : Tasa de fallas (Fallas/Hr).

Y se expresa:  $\lambda = 1/MTBF$

Tabla 7: Determinación de la Confiabilidad mensual en Planta de Oxígeno.

Ítem	MES - año	hrs operac	N° paradas	MTBF	Tiempo Mant. Correctivo	$-\lambda * TTP/100$	CONFIABILIDAD %
1	Jul-20	714.8	3	238.27	17.2	-0.03070	0.96975
2	Ago-20	716.6	3	238.87	15.4	-0.03063	0.96982
3	Set-20	693.7	4	173.83	14.3	-0.04081	0.96000
4	Oct-20	716.4	4	179.10	15.6	-0.04085	0.95995
5	Nov-20	690.85	4	172.71	17.15	-0.04097	0.95984
6	Dic-20	715.8	3	238.60	16.2	-0.03066	0.96979
7	Ene-21	714.9	4	178.73	17.1	-0.04093	0.95987
8	Feb-21	643.5	4	160.88	16.5	-0.04100	0.95980
	<b>PROM.</b>	<b>700.82</b>	<b>3.63</b>	<b>193.33</b>	<b>16.18</b>	<b>-0.29654</b>	<b>0.96360</b>

Fuente: Elaboración propia.

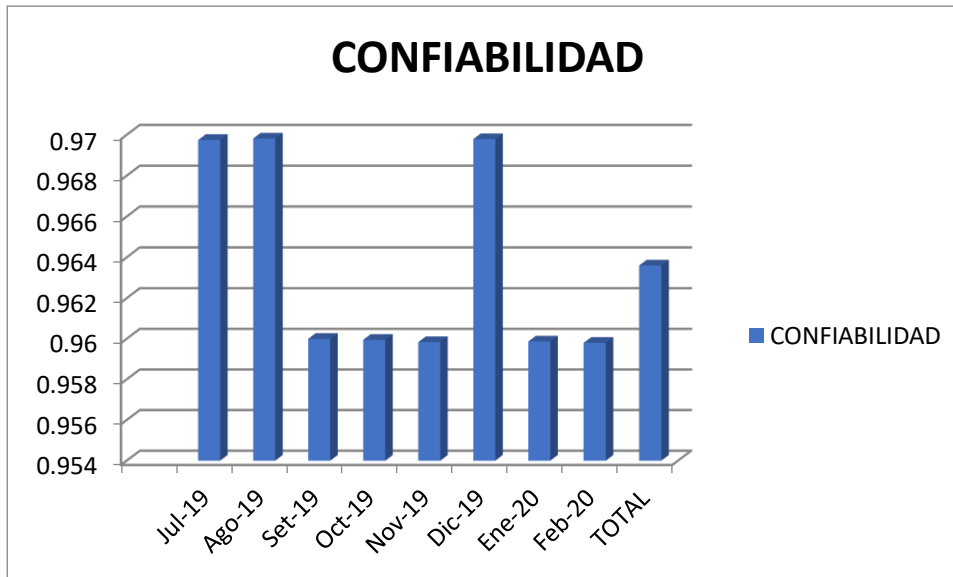


Figura 5: Diagrama de Confiabilidad mensual en Planta de Oxígeno. Período julio 2020 – febrero 2021.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3 Cálculo de la mantenibilidad mensual en Planta de Oxígeno.

La mantenibilidad o simplemente la probabilidad de que un equipo que presenta una falla y sea reparado en un determinado tiempo. Puede ser expresada a través de la expresión:

$$M(t) = \left(1 - e^{-\frac{\mu * TTP}{100}}\right) * 100\%$$

Dónde:

- M(t): Mantenibilidad (%)
- TTP: Tiempo total de estudio (Hrs).
- $\mu$ : Tasa de reparaciones  $\left(\frac{\text{reparaciones}}{\text{Hr}}\right)$ .

Y se expresa:

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$$



Tabla 8: Determinación de la Mantenibilidad mensual en Planta de Oxígeno.

Determinación de la Mantenibilidad mensual en Planta de Oxígeno.

Ítem	MES - año	hrs operac	N° paradas	MTTR	Tiempo Mant. Correctivo	-μ*TTP/100	MANTENIBILIDAD
1	Jul-20	732	3	5.73	17.2	-1.3067	0.7293
2	Ago-20	732	3	5.13	15.4	-1.4560	0.7668
3	Set-20	708	4	3.58	14.3	-2.0204	0.8674
4	Oct-20	732	4	3.90	15.6	-1.9169	0.8529
5	Nov-20	708	4	4.29	17.15	-1.6913	0.8157
6	Dic-20	732	3	5.40	16.2	-1.3856	0.7498
7	Ene-21	732	4	4.28	17.1	-1.7523	0.8266
8	Feb-21	660	4	4.13	16.5	-1.6400	0.8060
	<b>PROM.</b>	<b>717</b>	<b>3.63</b>	<b>4.46</b>	<b>16.18</b>	<b>-1.6462</b>	<b>0.8018</b>

Fuente: Elaboración propia.

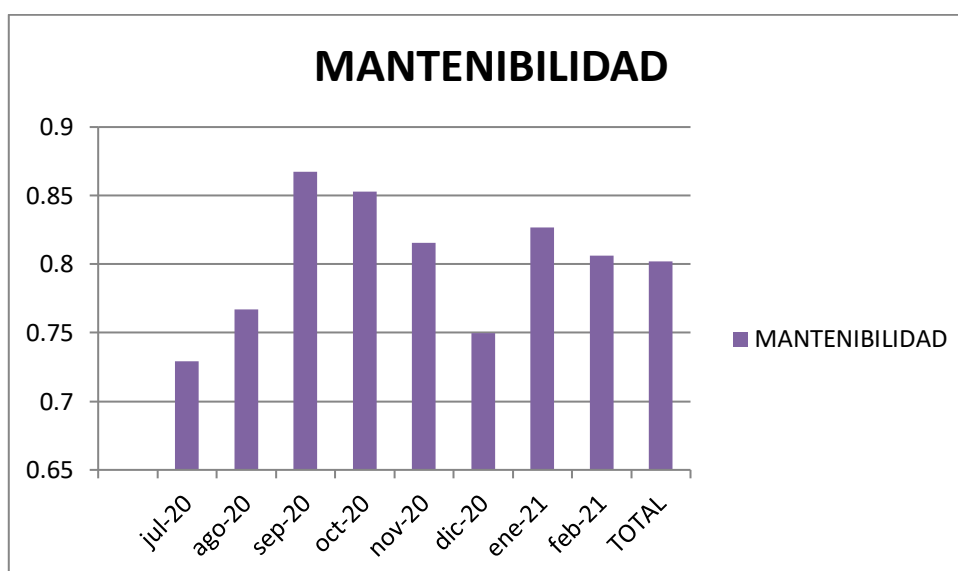


Figura 6: Diagrama de Mantenibilidad mensual en Planta de Oxígeno. Período julio 2020 – febrero 2021.

Fuente: Elaboración propia

**4.2. Realizar un análisis de criticidad a los equipos de la red de oxígeno de la planta industrial, el análisis de modo y efecto de fallos y valorar el número de prioridad de riesgo.**

Se procedió a realizar un diagrama de flujo, indicando la secuencia que se realiza para la obtención del oxígeno industrial, donde se especifica cada uno de

los equipos, esto nos servirá para poder mantener el orden durante el análisis de criticidad de los equipos.

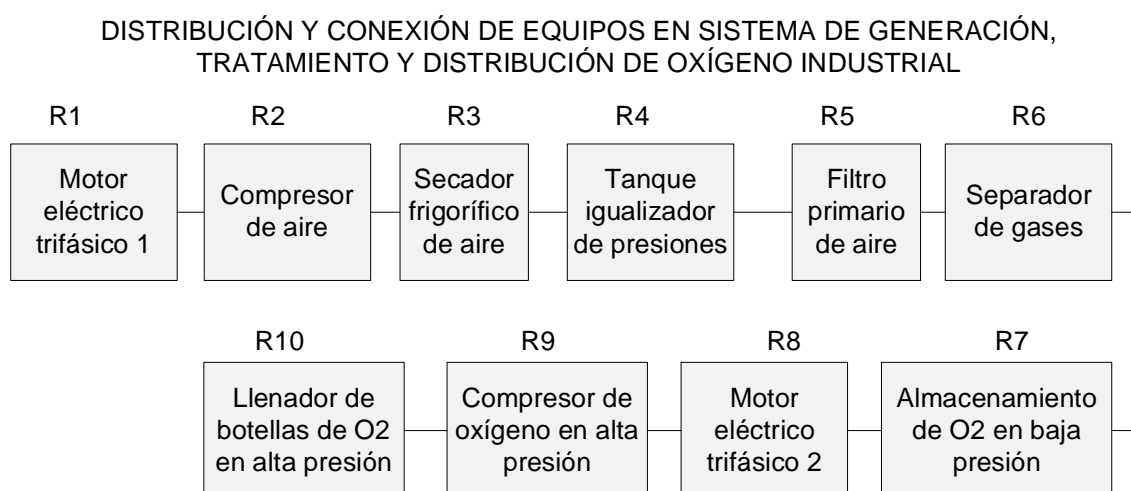


Figura 7: Distribución y conexión serie de equipos del sistema de generación, tratamiento y distribución de oxígeno industrial.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1 Análisis de criticidad de las máquinas y equipos.

Se procedió a realizar un análisis de todos los equipos y máquinas para poder seleccionar los componentes críticos.

Tabla 9: Resumen de análisis de criticidad.

<b>CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO 1</b>				
<b>N°</b>	<b>FALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PLAN DE MTT</b>	<b>VALOR DE CRITICIDAD</b>
1	PERNOS DE ANCLAJE	<b>N.C.</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
2	CAJA DE CONEXIONES	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	512
3	TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	320
4	VENTILADOR DE MOTOR	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	640
5	AISLAMIENTO DE CABLEADO AL MOTOR	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
6	AISLAMIENTO DE ROTOR	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	480
7	AISLAMIENTO DE ESTATOR	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	144

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE COMPRESOR DE AIRE**

<b>N°</b>	<b>FALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PLAN DE MTTT</b>	<b>VALOR DE CRITICIDAD</b>
1	BASTIDOR O CHASIS.	<b>N.C.</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
2	ELEMENTO DE ALTA PRESIÓN	<b>C</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	240
3	ELEMENTO DE BAJA PRESIÓN	<b>C</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	160
4	PERNOS ROTOS	<b>N.C.</b>	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	72
5	FUGAS DE ACEITE	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	216
6	ACOPLAMIENTO DE MOTOR	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	160
7	SISTEMA DE REFRIGERAC	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
8	BASES O DESCANSOS	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
9	GOBERNADOR DE CARGA Y DESCARGA	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	144

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE SECADOR FRIGORÍFICO DE AIRE**

<b>N°</b>	<b>FALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PLAN DE MTTT</b>	<b>VALOR DE CRITICIDAD</b>
1	CARCASA DE SECADOR	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	192
2	SISTEMA DE REFRIGERACION	<b>C</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	640
3	SISTEMA MECANICO DE VÁLVULAS	<b>C</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	320
4	TABLERO ELECTRÓNICO DE CONTROL	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	160
5	SISTEMA ELÉCTRICO	<b>MC</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	512
6	SISTEMA DE RESISTENCIAS	<b>MC</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	160
7	NIVEL DE SILICAT-GEL	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	480
8	SISTEMA AUTOMÁTICO DE CAMBIO DE SECADOR	<b>MC</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	168

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE IGUALIZADOR DE PRESIONES**

<b>N°</b>	<b>FALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PLAN DE MTTTO</b>	<b>VALOR DE CRITICIDAD</b>
1	BASE DE TANQUE	<b>N.C.</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	96
2	MAN HOLE DEL TANQUE	<b>MC</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	192
3	VALVULAS DE INGRESO DE AIRE	<b>C</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	320
4	VÁLVULAS DE INGRESO DE O2	<b>C</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	320
5	VALVULAS DE PURGA Y TRAMPAS	<b>C</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	320
6	VALVULAS DE SEGURIDAD	<b>C</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	480
7	SENSORES DE NIVEL	<b>C</b>	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	512

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE FILTRO PRIMARIO DE ACEITE**

<b>N°</b>	<b>FALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PLAN DE MTTTO</b>	<b>VALOR DE CRITICIDAD</b>
1	CARCASA DE FILTRO	<b>MC</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	192
2	TAPONEADO DE CELDAS DE FILTRO	<b>C</b>	MANTENIEMIENTO CORRECTIVO	640
3	ROTURA DE ELEMENTOS FILTRANTES	<b>C</b>	MANTENIEMIENTO CORRECTIVO	480
4	PICADURA DE BASES DE FILTRO	<b>MC</b>	MANTENIEMIENTO CORRECTIVO	256
5	CONTAMINACIÓN DE LUBRICANTE	<b>C</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	512
6	FALLA DE O'RINGS OBTURADORES	<b>C</b>	MANTENIEMIENTO CORRECTIVO	240
7	SISTEMA DE INYECCIÓN	<b>M.C.</b>	MANTENIEMIENTO PREVENTIVO	160

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE SEPARADOR DE GASES**

<b>N°</b>	<b>FALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PLAN DE MTTTO</b>	<b>VALOR DE CRITICIDAD</b>
1	CARCASA DE SEPARADOR	<b>N.C.</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
2	SISTEMA ELÉCTRICO	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	512
3	VENTILADORES DEL SEPARADOR	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	320
4	SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	640
5	REGULADOR DE VELOCIDAD DE MOTOR	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	640
6	DUCTO DE SEPARADOR	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	250
7	ACOPLAMIENTO	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	144

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE ALMACENAMIENTO DE O2 EN B.P.**

<b>N°</b>	<b>FALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PLAN DE MTTTO</b>	<b>VALOR DE CRITICIDAD</b>
1	AREA DE ALMACEN	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	192
2	PISOS Y PARIHUELAS	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	640
3	SISTEMA DE VENTILACIÓN	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	480
4	EMBALAJE DE BOTELLAS	<b>MC</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
5	SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	512
6	VEHÍCULOS DE TRANSPORTE	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	240
7	SUJETADORES DE ALMACENAM.	<b>M.C.</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
8	PRECINTOS DE SEGURIDAD	<b>C</b>	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	320

9	PINTADO DE AREA	N.C.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
---	-----------------	------	--------------------------	----

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO 2**

Nº	FALLA	CLASIFICACIÓN	PLAN DE MTTO	VALOR DE CRITICIDAD
1	PERNOS DE ANCLAJE	N.C.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
2	CAJA DE CONEXIONES	C	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	512
3	TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO	C	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	320
4	VENTILADOR DE MOTOR	MC	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	144
5	AISLAMIENTO DE CABLEADO AL MOTOR	C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
6	AISLAMIENTO DE ROTOR	C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	240
7	AISLAMIENTODE ESTATOR	C	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	240

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE COMPRESOR DE OXIGENO DE A.P.**

Nº	FALLA	CLASIFICACIÓN	PLAN DE MTTO	VALOR DE CRITICIDAD
1	BASTIDOR O CHASIS.	N.C.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
2	ELEMENTO DE ALTA PRESIÓN	C	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	240
3	ELEMENTO DE BAJA PRESIÓN	C	MANTENIMIENIENTO PREDICTIVO	160
4	PERNOS ROTOS	N.C.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	72
5	FUGAS DE OXÍGENO	C	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	160
6	ACOPLAMIENTO DE MOTOR	MC	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	160
7	SISTEMA DE REFRIGERAC	C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
8	BASES O DESCANSOS	C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256

9	GOBERNADOR DE CARGA Y DESCARGA	MC	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	144
---	--------------------------------	----	--------------------------	-----

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS DE CRITICIDAD DE LLENADOR DE BOTELLAS DE O2 A.P.**

N°	FALLA	CLASIFICACIÓN	PLAN DE MTTO	VALOR DE CRITICIDAD
1	RAMPA DE LLENADO	N.C.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	96
2	VÁLULAS DE LLENADORES	C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	320
3	CONTROLADORES DE FLUJO DE LLENADO	C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	640
4	MANGUERAS TRAMADAS	N.C.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	72
5	FUGAS POR ABRASADERAS	MC	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	216
6	SISTEMA ELÉCTRICO	C	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	512
7	SISTEMA DE SEGURIDAD DE OPERADOR	C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	256
8	DESPACHO DE BOTELLAS	MC	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	144

Fuente: Elaboración propia.

**4.2.2. Establecer mediante el Análisis de modos y efectos de fallos (AMEF) y el Número de prioridad de riesgos (NPR), las fallas críticas preponderantes.**

En los siguientes cuadros, se desarrollarán los Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) para cada falla crítica de los equipos, a través de la elaboración de las hojas de información y decisiones.

Tabla 10: Hoja de información de Equipos de la red de oxígeno de una empresa industrial.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	Equipos Área de planta de producción de oxígeno		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
<p>El motor eléctrico 1, fundamentalmente tienen la función de transmitir potencia hacia el compresor de aire para inicio de producción de oxígeno en la Planta.</p>	<p>Bajo aislamiento de cables y motor eléctrico trifásico 1.</p>	<p>Debido a la presencia de humedad en el ambiente de trabajo y en ocasiones cuando hay cortes de energía, baja el aislamiento de cables y estator de <b>MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO 1.</b></p>	<p>De acuerdo a la oportunidad y tiempo que deje de estar operativo el motor, es posible que se produzca la apertura de bobinas del estator por bajo aislamiento y “el motor se queme”. A manera de prevención, después de cada paralización de la unidad se debe realizar el “megado” correspondiente.</p>		
<p>El compresor de aire, tiene la función de suministro de aire comprimido en 125 psi, hacia el sistema de producción de oxígeno de la Planta.</p>	<p>Colapso de los elementos de baja y alta presión.</p>	<p>Por desgaste prematuro del “estelite” de protección de flancos de los tornillos recíprocos de los elementos de alta y baja presión del <b>COMPRESOR DE AIRE</b>, se produce la falla de rodamientos del eje central y trabamiento de la unidad.</p>	<p>Disparo de los sistemas de seguridad, inoperatividad del compresor, repotenciación de unidad. A manera de prevención debe realizarse el monitoreo continuo de análisis vibracional en los elementos AP y BP.</p>		
<p>El secador frigorífico de aire, otorga calidad de aire “seco” para los equipos de instrumentación y control automático del proceso de la Planta de oxígeno.</p>	<p>Bloqueo de apertura y cierre de válvulas de admisión a torres del secador de aire.</p>	<p>El sistema mecánico de apertura y cierre automáticos de las válvulas de admisión de las torres del <b>SECADOR FRIGORÍFICO DE AIRE</b> dejan de funcionar por</p>	<p>Al producirse este desperfecto, los brazos mecánicos de accionamiento de apertura y cierre de las válvulas de admisión de aire al secador (cambio de torre) se rompen o sufren deformación debido a la torsión fuerte producida en el disparo de la unidad.</p>		



		bloqueo desde el tablero electrónico de control debido a que ha censado bajo nivel de Silicat-Gel en los tanques de secado.	
El tanque igualizador de presiones, tiene la función de uniformizar, depurar y establecer la correcta presión de trabajo hacia la Planta de producción de oxígeno. Trabaja como un tanque pulmón.	Deterioro y trabamiento de válvulas de ingreso de aire, válvulas de seguridad, válvulas de purga y sensores de nivel.	Debido a humedad excesiva, las válvulas de ingreso de aire, de seguridad y de purga del tanque quedan inoperativas para su manipulación y se traban. Los sensores de nivel hacen falso contacto que ocasiona el disparo en el sistema de control del <b>TANQUE IGUALIZADOR.</b>	Pérdida de producción por paralización intempestiva del tanque. Se identifica la falla en válvulas, se procede al cambio de las afectadas, limpieza y reseteo del interruptor.
El filtro primario de aceite, sirve para depurar y otorgar calidad de lubricación al sistema centralizado de aceite de la Planta de producción de oxígeno.	Falla de o'rings obturadores, contaminación del lubricante, rotura de elementos filtrantes y taponeo de celdas del filtro.	Al fallar los o'rings de sello del filtro, por excesiva presión en el sistema hidráulico, se produce fuga de lubricante e ingreso de polvo y partículas al <b>FILTRO PRIMARIO DE ACEITE</b> que taponean las celdas y ocasionan rotura de elementos filtrantes.	Retraso en la producción porque se tiene que parar el sistema centralizado de aceite para el cambio de los filtros y clarificación del aceite circulante.
El Separador de gases de la planta de oxígeno tiene como función principal, depurar y estabilizar el suministro de O2	Falla en el sistema de control automático por variaciones de tensión eléctrica.	Por variaciones de tensión eléctrica de la red, el sistema de control automático del	Activa el sensor por falta de presión al separador y se paraliza el suministro de O2 al sistema. Se recomienda colocar estabilizador de corriente y/o UPS para este equipo.

hacia la máquina llenadora de oxígeno, previo paso por el compresor.		<b>SEPARADOR DE GASES</b> se descalibra y ocasiona falla en el regulador de velocidad del motor, vibraciones altas en los ventiladores y ducto del separador.	
Almacenamiento de O2 en baja presión.	Pisos y parihuelas inadecuadas y ventilación inapropiada. Vehículos de transporte inoperativos.	Por deficiencia en el pulido de pisos, parihuelas para transporte de botellas de oxígeno deterioradas, inadecuada ventilación y vehículos montacargas inoperativos, se producen retrasos en el correcto almacenamiento de las botellas.	El efecto de estas fallas determina que las botellas de oxígeno sean colocadas en el patio de zona de seguridad, a la intemperie y con peligro personal y de los activos.
El motor eléctrico 2, fundamentalmente tienen la función de transmitir potencia hacia el compresor de oxígeno de alta presión para el llenado de las botellas respectivas.	Bajo aislamiento de cables y motor.	Debido a la presencia de humedad en el ambiente de trabajo y en ocasiones cuando hay cortes de energía, baja el aislamiento de cables y estator de <b>MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO 2</b>	De acuerdo a la oportunidad y tiempo que deje de estar operativo el motor, es posible que se produzca la apertura de bobinas del estator por bajo aislamiento y "el motor se queme". A manera de prevención, después de cada paralización de la unidad se debe realizar el "megado" correspondiente.
El compresor de oxígeno. Tiene como función principal realizar el suministro de este gas, a alta presión hacia la máquina llenadora de botellas, a través de la línea correspondiente de la Planta de refrigeración	Desincronismo en el sistema de transmisión de Compresores de tornillo, Colapso de los elementos de baja y alta presión. fugas en el sistema de refrigeración.	Por aflojamiento y desgaste de los "amortiguadores" de juntas de acoplamiento, se produce perturbación en el sistema de transmisión de los <b>COMPRESORES DE OXÍGENO</b> , alta vibración que trasciende en la falla de los elementos de A.P. y B.P., así como también la producción de fisuras en líneas de refrigeración.	Parada de planta por falta de presión al sistema de llenado de botellas de oxígeno y posible colapso de los elementos de A.P. y B.P.

<p>Máquina que, mediante válvulas de alta presión, realiza el llenado de botellas de oxígeno para ser despachadas y/o almacenadas</p>	<p>falla del sistema eléctrico, inestabilidad de los controladores de flujo, sobrecarga de válvulas de alta presión de llenado de oxígeno.</p>	<p>Generalmente por falla del sistema eléctrico, los controladores de flujo hacia las válvulas de alta presión de llenado de oxígeno se inestabilizan y sobrecargan haciendo colapsar al <b>LLENADOR DE BOTELLAS DE OXÍGENO.</b></p>	<p>Parada de planta por descontrol de suministro de O<sub>2</sub> a la máquina llenadora de oxígeno.</p>
---	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.3. Número de Prioridad de Riesgos (NPR).

La siguiente tabla, muestra la selección de las fallas de los equipos críticos evaluados. Se determinan los valores NPR para cada una de las fallas establecidas en el AMEF. Mediante la correspondiente ponderación se establecen como:

- $NPR \geq 200$  **Inaceptable (I)**
- $200 > NPR < 125$  **reducción deseable (R)**
- $125 > NPR$  **Aceptable**

Tabla 11: Tabla de análisis del NPR

Ítem	Descripción de la falla crítica	G	O	D	NPR	
F1	Bajo aislamiento de cables y motor eléctrico trifásico 1.	8	5	5	200	I
F2	Colapso de los elementos de baja y alta presión.	8	5	6	240	I
F3	Bloqueo de apertura y cierre de válvulas de admisión a torres del secador de aire.	7	5	5	175	R
F4	Deterioro y trabamiento de válvulas de ingreso de aire, válvulas de seguridad, válvulas de purga y sensores de nivel del tanque igualizador	10	8	7	560	I
F5	Falla de o'rings obturadores, contaminación del lubricante, rotura de elementos filtrantes y taponeo de celdas del filtro primario de aceite.	6	6	5	180	R
F6	Falla en el sistema de control automático del separador de gases, por variaciones de tensión eléctrica.	8	5	8	320	I
F7	Pisos y parihuelas inadecuadas y ventilación inapropiada. Vehículos de transportes inoperativos en zona de Almacenamiento de O2 en alta presión.	4	5	3	60	A
F8	Bajo aislamiento de cables y motor eléctrico trifásico 2.	8	5	6	240	I
F9	Desincronismo en el sistema de transmisión de Compresores de tornillo, colapso de los elementos de baja y alta presión, fugas en Sist. de Refrig.	8	5	7	280	I
F10	Falla del sistema eléctrico, inestabilidad de los controladores de flujo, sobrecarga de válvulas de alta presión de llenador de botellas de oxígeno.	10	6	7	420	I

Fuente: Elaboración propia.

De la evaluación del NPR, podemos deducir que 7 fallas son indeseables (70.0%), 2 fallas son reducibles a deseables (20.0%) y 1 falla es aceptable (10.0%).

### **4.3. Preparar el programa de mantenimiento.**

- Cables y motor eléctrico trifásico 1
- Elementos de baja y alta presión de compresora principal de aire.
- Bloqueo de apertura y cierre de válvulas de admisión a torres del secador de aire.
- Deterioro y trabamiento de válvulas de ingreso de aire, válvulas de seguridad, válvulas de purga y sensores de nivel del tanque igualizador.
- Falla en el sistema de control automático del separador de gases, por variaciones de tensión eléctrica.
- Bajo aislamiento de cables y motor eléctrico trifásico 2.
- Desincronismo en el sistema de transmisión de compresores de tornillo.
- Falla del sistema eléctrico, inestabilidad de los controladores de flujo, sobrecarga de válvulas de alta presión de llenador de botellas de oxígeno.

#### **4.3.1. Cables y motor eléctrico trifásico 1:**

##### **MANTENIMIENTO DIARIO:**

##### **Inspección:**

- Verificación de temperatura de bornes en caja de conexiones
- Verificación de estado de la conexión eléctrica del motor.
- Verificación de aislamiento de cables y estator del motor antes del arranque.

##### **Limpieza:**

- Al finalizar la jornada de trabajo, limpieza total de las partes fundamentales del motor eléctrico, con los materiales adecuados.

##### **Lubricación:**

- Verificación del nivel de grasa en las chumaceras del motor y reposición si fuera necesario.

##### **Normas de seguridad:**

- Utilización adecuada de las herramientas de control eléctrico.
- Utilización de los implementos de seguridad personal reglamentarios.
- Desconectar el interruptor principal al término del trabajo.
- Antes de la ejecución de actividades de mantenimiento, apagar y desconectar el motor y colocar señalización correspondiente.

## **MANTENIMIENTO SEMANAL:**

### **Lubricación:**

- Lubricar rodamientos de chumaceras del motor, teniendo en cuenta el correcto contenido, de acuerdo a las especificaciones de catálogo
- Lubricar acoplamiento de motor-compresor con la grasa adecuada.

### **Limpieza:**

- Limpiar cuidadosamente cada una de las partes que constituyen el motor y contactos de cables eléctricos. Verificar estado de contactos y cintas aislantes de protección.

## **MANTENIMIENTO TRIMESTRAL:**

### **Inspección:**

- Inspección mecánica. Ver anexo.
- Inspección eléctrica. Ver anexo.

### **Medición eléctrica:**

- Medir corriente de consumo del motor y verificar si se encuentra dentro de intervalo reglamentario.

### **Lubricación:**

- Cambio de grasa a rodamientos de chumaceras soportes del motor eléctrico.
- Aplicar grasa a los rodamientos internos del motor
- Cambio de grasa de acoplamiento motor-compresor.

## **MANTENIMIENTO SEMESTRAL:**

### **Inspección:**

- Inspección mecánica. Ver anexo.

### **Limpieza:**

- Limpiar con disolvente dieléctrico, todos los contactos desde tablero de distribución, caja de conexiones de motor y partes accesibles del motor eléctrico.

## **CADA 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

- Megado de conductores y motor eléctrico.
- Verificación de alineamiento motor-compresor.

- Pintado externo de motor.
- Limpieza de los sistemas de lubricación (graseras, tuberías).

## **MANTENIMIENTO ANUAL**

- Mantenimiento general del motor:
  - Cambio de rodamientos de rotor-estator.
  - Verificación de linealidad de eje de rotor.
  - Verificación de ajuste de bocinas de estator vs. rodamientos
  - Barnizado y secado en horno de bobinas de rotor y estator.
- Revisión general de la parte mecánica
  - Alineamiento laser de motor-compresor
  - Limpieza y revisión de acoplamiento motor-compresor.  
Verificación de estado de coples y canastilla.

### **4.3.2. Compresor de aire.**

#### **MANTENIMIENTO DIARIO:**

##### **Inspección:**

- Verificación de hermeticidad de las puertas del tablero eléctrico.
- Verificación en instrumentos de control:
  - Presión del aceite en el sistema hidráulico del compresor.
  - Temperatura de aceite antes y después de los enfriadores.
  - Nivel de aceite en la unidad.
  - Horómetros de carga y descarga del compresor.

##### **Limpieza:**

- Al finalizar la jornada de trabajo, limpieza total de las partes fundamentales del compresor.

##### **Lubricación:**

- Verificación del nivel de aceite del compresor y adición si fuera necesario.
- Control del aceite mediante evaluación en laboratorio, para identificación de posible contaminación.

##### **Normas de seguridad:**

- Utilización de los implementos de seguridad personal reglamentarios.

- Desconectar el interruptor principal al término del trabajo.
- Antes de la ejecución de actividades de mantenimiento, apagar y desconectar el motor y colocar señalización correspondiente.

### **MANTENIMIENTO SEMANAL:**

#### **Lubricación:**

- Rellenar nivel de aceite del compresor.
- Limpieza de filtros de aceite y aire.

#### **Limpieza:**

- Limpiar cuidadosamente cada una de las partes que constituyen el compresor, tanto en admisión de aire del ambiente, como de descarga de aire comprimido.

### **MANTENIMIENTO TRIMESTRAL:**

#### **Inspección:**

- Inspección mecánica. Ver anexo.
- Inspección eléctrica. Ver anexo.

#### **Medición eléctrica:**

- Medir corriente de consumo del motor y verificar si se encuentra dentro de intervalo reglamentario.

#### **Lubricación:**

- Limpieza general de los enfriadores de aceite. Desmontaje.
- Cambio de grasa de acoplamiento motor-compresor.

### **MANTENIMIENTO SEMESTRAL:**

#### **Inspección:**

- Inspección mecánica. Ver anexo xx
- Verificación mediante análisis vibracional, estado de rodamientos de los elementos de alta y baja presión.

#### **Limpieza:**

- Desmontaje y limpieza general del gobernador de la compresora.
- Desmontaje y limpieza general de Intercooler y Aftercooler de la compresora.



### **CADA 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

- Megado de conductores y motor eléctrico.
- Realizar pruebas eléctricas de continuidad en cables y motor.
- Verificación de alineamiento motor-compresor.
- Realizar “lavado gástrico” a la compresora utilizando on-line una solución de producto desincrustante para tuberías y enfriadores.
- Limpieza de los sistemas de lubricación (graseras, tuberías).

### **MANTENIMIENTO ANUAL**

- Mantenimiento general de compresora:
  - Cambio de filtros de aire.
  - Desmontaje y mantenimiento de enfriadores de aceite.
  - Desmontaje y mantenimiento de enfriadores de aire (Intercooler y Aftercooler)
  - Verificación mediante herramientas predictivas, el estado de desgaste de flancos de los tornillos recíprocos de los elementos de alta y baja presión.
  - Mantenimiento de tarjetas electrónicas de control y sensores de la compresora.
  - Calibración de instrumentos de control de flujos, presión y temperatura de la unidad.
  - Alineamiento de acoplamiento de motor-compresor

#### **4.3.3. Tanque Igualador.**

##### **MANTENIMIENTO DIARIO:**

##### **Inspección:**

- Verificación de hermeticidad de las puertas del man-hole y hand-hole del tanque.
- Verificación en instrumentos de control:
  - Presión del aire en el sistema válvulas de seguridad, purga y sensores de nivel.
  - Apertura y cierre de las trampas de evacuación de condensados del tanque igualador.

**Lubricación:**

- Verificación del correcto engrase de los vástagos de cada una de las válvulas.

**Normas de seguridad:**

- Desconectar el interruptor principal al término del trabajo.
- Antes de la ejecución de actividades de mantenimiento, apagar y desconectar el sistema de control de válvulas del tanque y colocar señalización correspondiente.

**MANTENIMIENTO SEMANAL:****Lubricación:**

- Relubricar vástagos de válvulas de seguridad y control del tanque.

**Limpieza:**

- Limpiar cada una de las partes superficiales de las válvulas de seguridad y control del tanque.
- Limpieza externa de todo el tanque y aplicar protector de pintura utilizando aditivos específicos.

**MANTENIMIENTO TRIMESTRAL:****Inspección:**

- Inspección y/o calibración de válvulas de seguridad.
- Inspección de carrera longitudinal de vástagos de válvulas de control.

**Lubricación:**

- Cambio de grasa de vástagos de válvulas de seguridad y control.

**MANTENIMIENTO SEMESTRAL:****Inspección:**

- Inspección mecánica de las válvulas de seguridad y de las válvulas de control de apertura y cierre.
- Inspección interna del tanque para comprobación de deterioro.

**Limpieza:**

- Desmontaje, limpieza general y cambio de empaquetaduras de man-hole y hand-hole del tanque igualizador.

### **CADA 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

- Desmontaje y mantenimiento general de válvulas de seguridad
- Realizar limpieza interna superficial del tanque.
- Limpieza y lubricación de los sistemas de accionamiento de los brazos de apertura y cierre de las válvulas de control.

### **MANTENIMIENTO ANUAL**

- Mantenimiento general del tanque igualizador:
  - Cambio de sensores de nivel. Generalmente el deterioro por humedad ocasiona falla.
  - Desmontaje y mantenimiento de válvulas de control.
- Realizar pruebas de hermeticidad del tanque.
  - Mediante técnicas de ensayos no destructivos se procede a la presurización del tanque.
  - Calibración de válvulas de control de flujos, presión y temperatura de la unidad.
- Pintado general del tanque.

#### **4.3.4. Separador de Gases.**

##### **MANTENIMIENTO DIARIO:**

##### **Inspección:**

- Verificación el nivel del tamiz molecular de zeolita y piedras porosas.
- Verificación de estado de las válvulas de control de presión del aire atmosférico.
- Al finalizar la jornada de trabajo, limpieza total de las partes fundamentales del separador de gases de la planta de oxígeno, con los materiales adecuados.

##### **Normas de seguridad:**

- Utilización adecuada de las herramientas de verificación de válvulas.
- Utilización de los implementos de seguridad personal reglamentarios.
- Desconectar el interruptor principal al término del trabajo.

- Antes de la ejecución de actividades de mantenimiento, apagar y desconectar el sistema de control del separador de gases y colocar señalización correspondiente.

### **MANTENIMIENTO SEMANAL:**

#### **Verificación:**

- Comprobar el correcto proceso PSA (Adsorción por oscilación de presión).
- Comprobar el correcto pase de aire seco a través del productor de oxígeno llamado tamiz molecular.

#### **Limpieza:**

- Limpiar cuidadosamente cada una de las partes que constituyen el Separador de gases de la planta de oxígeno. Verificar estado de contactos y tarjetas electrónicas de su sistema de control.

### **MANTENIMIENTO TRIMESTRAL:**

#### **Inspección:**

Verificación y calibración de capacidad del aire para estabilizar el suministro de O<sub>2</sub> hacia la máquina llenadora de oxígeno, previo pasó por el compresor.

#### **Medición eléctrica:**

Medir corriente de consumo del sistema del Separador y verificar si se encuentra dentro de intervalo reglamentario.

### **MANTENIMIENTO SEMESTRAL:**

#### **Inspección:**

Desmontaje y mantenimiento de las válvulas de control de admisión de aire, válvulas de eliminación de nitrógeno y válvulas de control del flujo volumétrico invertido en el procesamiento de separar el aire.

#### **Limpieza:**

- Limpiar con disolvente dieléctrico, todos los contactos desde tablero de distribución, caja de conexiones de motor y partes accesibles del motor eléctrico.

### **CADA 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

- Cambio de zeolita y piedras porosas, por degradación de carga con gas nitrógeno en el proceso.
- Mantenimiento general de los “orificios de puga” del sistema, mediante rellenado y maquinado a medidas estándar.
- Pintado externo de separador
- Limpieza de los sistemas de control (tarjetas electrónicas y contactos eléctricos).

### **MANTENIMIENTO ANUAL**

- Mantenimiento general del separador de gases de la planta de oxígeno:
  - Líneas de paso previo por el compresor.
  - Verificación de carrera de las válvulas automáticas de control.
  - Limpieza química de las piedras porosas y zeolita para su reactivación.

#### **4.3.5. Cables y motor eléctrico trifásico 2.**

Igual al procedimiento de Mantenimiento que el motor eléctrico trifásico 1.

#### **4.3.6. Compresor de Oxígeno.**

##### **MANTENIMIENTO DIARIO:**

##### **Inspección:**

- Verificación de hermeticidad de las puertas del tablero eléctrico.
- Verificación en instrumentos de control:
  - Presión del aceite en el sistema hidráulico del compresor de oxígeno.
  - Temperatura de aceite antes y después de los enfriadores.
  - Nivel de aceite en la unidad.
  - Horómetros de carga y descarga del compresor de oxígeno.

##### **Limpieza:**

- Al finalizar la jornada de trabajo, limpieza total de las partes fundamentales del compresor de oxígeno.

**Lubricación:**

- Verificación del nivel de aceite del compresor de oxígeno y adición si fuera necesario.
- Control del aceite mediante evaluación en laboratorio, para identificación de posible contaminación.

**Normas de seguridad:**

- Utilización de los implementos de seguridad personal reglamentarios.
- Desconectar el interruptor principal al término del trabajo.
- Antes de la ejecución de actividades de mantenimiento, apagar y desconectar el motor y colocar señalización correspondiente.

**MANTENIMIENTO SEMANAL:****Lubricación:**

- Rellenar nivel de aceite del compresor de oxígeno.
- Limpieza de filtros de aceite y aire.

**Limpieza:**

- Limpiar cuidadosamente cada una de las partes que constituyen el compresor de oxígeno, tanto en admisión de aire del ambiente, como de descarga de aire comprimido.

**MANTENIMIENTO TRIMESTRAL:****Inspección:**

- Inspección mecánica.
- Inspección eléctrica.

**Medición eléctrica:**

- Medir corriente de consumo del motor y verificar si se encuentra dentro de intervalo reglamentario.

**Lubricación:**

- Limpieza general de los enfriadores de aceite. Desmontaje.
- Cambio de grasa de acoplamiento motor-compresor.

**MANTENIMIENTO SEMESTRAL:****Inspección:**

- Inspección mecánica.
- Verificación mediante análisis vibracional, estado de rodamientos de los elementos de alta y baja presión.

#### **Limpieza:**

- Desmontaje y limpieza general del gobernador de la compresora de oxígeno.
- Desmontaje y limpieza general de Intercooler y Aftercooler de la compresora.

#### **CADA 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

- Megado de conductores y motor eléctrico.
- Realizar pruebas eléctricas de continuidad en cables y motor.
- Verificación de alineamiento motor-compresor.
- Realizar “lavado gástrico” al compresor de oxígeno, utilizando on-line una solución de producto desincrustante para tuberías y enfriadores.
- Limpieza de los sistemas de lubricación (graseras, tuberías).

#### **MANTENIMIENTO ANUAL**

- Mantenimiento general del compresor de oxígeno:
  - Cambio de filtros de aire.
  - Desmontaje y mantenimiento de enfriadores de aceite.
  - Desmontaje y mantenimiento de enfriadores de aire (Intercooler y Aftercooler)
  - Verificación mediante herramientas predictivas, el estado de desgaste de flancos de los tornillos reciprocantes de los elementos de alta y baja presión.
  - Mantenimiento de tarjetas electrónicas de control y sensores del compresor de oxígeno.
  - Calibración de instrumentos de control de flujos, presión y temperatura de la unidad.
  - Alineamiento de acoplamiento de motor-compresor.

#### **4.3.7. Llenador de botellas de oxígeno**

##### **MANTENIMIENTO DIARIO:**

###### **Inspección:**

- Verificación de toberas de llenado a las botellas de oxígeno.
- Verificación del estado de las válvulas de alta presión de control de llenado de oxígeno.
- Verificación del sistema eléctrico de los controladores de flujo de llenado.
- Al finalizar la jornada de trabajo, limpieza total de las partes fundamentales del llenador de oxígeno, con los materiales adecuados.

###### **Normas de seguridad:**

- Utilización adecuada de las herramientas de verificación de válvulas de alta presión.
- Utilización de los implementos de seguridad personal reglamentarios.
- Desconectar el interruptor principal al término del trabajo.
- Antes de la ejecución de actividades de mantenimiento, apagar y desconectar el sistema de control del llenador de oxígeno y colocar señalización correspondiente.

##### **MANTENIMIENTO SEMANAL:**

###### **Verificación:**

- Relubricar vástagos de válvulas de alta presión y control de llenado de oxígeno.
- Comprobar el correcto pase de oxígeno a través de los conductos para llenado a las botellas.

###### **Limpieza:**

- Limpiar cuidadosamente cada una de las partes que constituyen la máquina llenadora de oxígeno. Verificar estado de contactos e instalaciones eléctricas de su sistema de control.

##### **MANTENIMIENTO TRIMESTRAL:**



**Inspección:**

- Verificación y calibración de limit switches de nivel de llenado de botellas para el suministro de O<sub>2</sub>.
- Verificación y calibración de los controladores de flujo hacia las válvulas de alta presión de llenado de oxígeno para evitar inestabilidad y sobrecarga.

**Medición eléctrica:**

- Medir corriente de consumo del sistema de la máquina llenadora de oxígeno y verificar si se encuentra dentro de intervalo reglamentario.

**MANTENIMIENTO SEMESTRAL:****Inspección:**

- Desmontaje y mantenimiento de las válvulas de control de admisión de aire, válvulas de eliminación de nitrógeno y válvulas de control del flujo en el proceso de llenado de botellas de oxígeno.

**Limpieza:**

- Limpiar con disolvente dieléctrico, todos los contactos desde tablero de distribución, caja de conexiones y partes accesibles del control eléctrico-electrónico.

**CADA 3000 HORAS DE OPERACIÓN:**

- Revisión/cambio de manómetros de control de la presión de las llenadoras.
- Mantenimiento general de las toberas de inyección de oxígeno al embotellado.
- Cambio de mangueras de flujo del sistema de llenado y pruebas de máxima presión.
- Limpieza de los sistemas de control eléctrico-electrónico (timers, control de flujo, control de nivel de llenado, tarjetas electrónicas y contactos eléctricos).

**MANTENIMIENTO ANUAL**

- Mantenimiento general de la máquina llenadora de botellas de oxígeno.
  - Calibración/cambio de los controladores de flujo hacia las válvulas de alta presión de llenado de oxígeno.
  - Calibración de las válvulas de control de alta presión hacia las botellas de oxígeno.
  - Calibración/repación de los manómetros de control de presión hacia las líneas de llenado.
  - Mantenimiento al sistema motriz del separador de botellas en la admisión y descarga automáticas.

#### 4.4. Determinar los parámetros nuevos de mantenimiento en R.C.M.

En base a los resultados del NPR, se tratarán para su solución 7 fallas indeseables que corresponden al 70.0% de todas las fallas existentes en los equipos de la planta de oxígeno; existiendo, asimismo, el 30.0% de fallas entre reducibles a deseables y aceptables.

Por lo tanto y en vista que debemos proyectar nuestro resultados post mejora, se presenta a continuación los nuevos indicadores:

Tabla 12: Indicadores post mejora.

*Indicadores post mejora*

**RESUMEN INDICADORES POST MEJORA**

<b>Item</b>	<b>MTBF</b>	<b>MTTR</b>	<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>	<b>MANTENIBILIDAD</b>
<b>1</b>	239.99	4.01	<b>98.3552</b>	<b>98.3552</b>	<b>15.46</b>
<b>2</b>	240.41	3.59	<b>98.5273</b>	<b>98.5273</b>	<b>12.49</b>
<b>3</b>	174.50	2.50	<b>98.5862</b>	<b>98.5862</b>	<b>5.58</b>
<b>4</b>	180.27	2.73	<b>98.5082</b>	<b>98.5082</b>	<b>6.47</b>
<b>5</b>	174.00	3.00	<b>98.3044</b>	<b>98.3044</b>	<b>8.93</b>
<b>6</b>	240.22	3.78	<b>98.4508</b>	<b>98.4508</b>	<b>13.82</b>
<b>7</b>	180.01	2.99	<b>98.3648</b>	<b>98.3648</b>	<b>8.18</b>
<b>8</b>	162.11	2.89	<b>98.2500</b>	<b>98.2500</b>	<b>9.61</b>
	<b>198.94</b>	<b>3.19</b>	<b>98.4230</b>	<b>98.4184</b>	<b>10.07</b>

Fuente: Elaboración propia

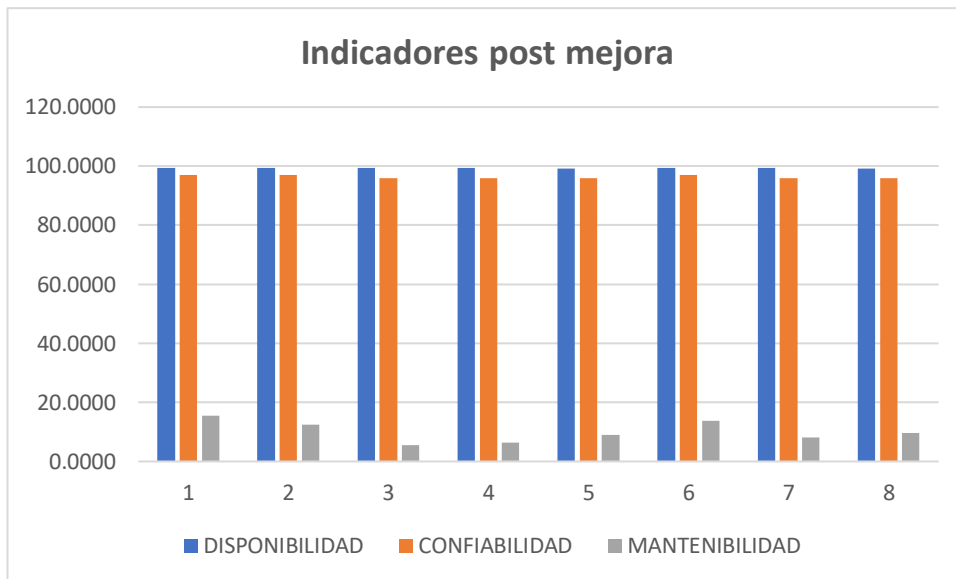


Figura 8: Indicadores de mantenimiento post mejora.

Fuente: Elaboración propia.

Comentario: Tomando como ejemplo la primera proyección:

- $MTTR = 5.73 * 0.70 = 4.01 \frac{\text{Horas}}{\text{mes}}$ :  $[MTTR \text{ inicial} * (I)]$
- $MTBF = (5.73 - 4.01) + 238.27 = 239.99 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}$   
 $= [MTTR \text{ inicial} - MTTR \text{ actual}] + MTBF \text{ inicial}$
- $C(t) = e^{-\lambda * ttp / 100}$
- $D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$

Tomando en consideración el mismo procedimiento, se han calculado los MTTR, MTBF, C (t) y M(a) de cada proyección mensual, simulando de esta manera los nuevos tiempos de producción post-mejora. (Ver anexos Excel).

Finalmente, para el nuevo escenario:

Indisponibilidad: Antes =  $100 - 97.74 = 2.26\%$

En mejora:  $100 - 98.4230 = 1.58\%$

Por lo tanto, la proyección de Horas de Operación comparativamente con los valores iniciales promedio es:

$700.82 * (0.0226 - 0.0158) + 700.82 = 705.6 \text{ Hrs/mes.}$

Que representa una producción de 6.4 m<sup>3</sup>/min.

#### 4.5 Realizar un análisis económico financiero.

De la evaluación del NPR, podemos deducir que 7 fallas son indeseables (70.0%), 2 fallas son reducibles a deseables (20.0%) y 1 falla es aceptable (10.0%)

##### 4.5.1. Beneficio económico por reducción de horas perdidas.

Tabla 13: Beneficio económico por reducción de horas perdidas

MES DE REFERENCIA	MTTR actual (Hrs/mes)	MTTR mejora (Hrs/mes)	Ahorro en Hrs. perdidas (Hrs/mes)	Costos de operación (US\$/hr)	Ahorro (US\$/mes)
1	5.73	4.01	1.72	1800.00	3144.40
2	5.13	3.59	1.54	1800.00	2815.32
3	3.58	2.50	1.07	1800.00	1960.67
4	3.90	2.73	1.17	1800.00	2138.91
5	4.29	3.00	1.29	1800.00	2351.43
6	5.40	3.78	1.62	1800.00	2961.57
7	4.28	2.99	1.28	1800.00	2344.58
8	4.13	2.89	1.24	1800.00	2262.31
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.55</b>	<b>3.19</b>	<b>1.37</b>	<b>1800.00</b>	<b>2458.97</b>

Fuente: Elaboración propia

##### Detalle:

Producción: 6.4 m<sup>3</sup>/min = 384 m<sup>3</sup>/hr.

Precio: 15.00 S./m<sup>3</sup>

Entonces: 384 \* 15 = 5760 S./hr = 1440.00 US\$/hr.

Utilidad: 25% ----- 1440.00 \* 1.25 = **1800.00 US\$/hr** --- **Que es el costo de operación**

Se determinó entonces que el beneficio económico y el ahorro por disminución de fallas es:

$$B_{\text{ahorro fallas}} = 2458.97 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \approx 29507.64 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

#### 4.5.2. Costo por implementación del mantenimiento predictivo.

Tabla 14: Costos en mantenimiento predictivo de la instalación.

ACCIÓN	FRECUENCIA	COSTO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$/año)
Análisis de aceite	12 veces/año	38.00	456
Análisis vibracional a los equipos de la Planta de Oxígeno.	12 veces/año	100.33	1200
Análisis termográfico a cables, tableros y motores	12 veces/año	65.00	780
<b>Total</b>			<b>2436</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.3. Costos por implementación del mantenimiento preventivo.

Tabla 15: Costos en mantenimiento preventivo de la Planta..

DESCRIPCION	Cantidad	Intervalo	Precio Unitario	Precio TOTAL
<b>MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO 1 y 2</b>				
REPUESTOS PARA CONTACTORES	7	960	130.02	1820.28
LIMPIADOR DE CONTACTOS	7	480	20.00	560.00
TERMINALES PARA CONEXIÓN DE CABLES	14	480	10.00	560.00
FUSIBLES PARA TABLERO DE CONTROL	14	960	35.70	999.60
RODAMIENTO 6206 PARA ROTOR/ESTATOR	6	960	10.00	120.00
CINTAS AISLANTES AUTO VULCANIZANTES	6	480	12.00	288.00
BARNIZ DIELECTRICO PARA BOBINAS	2	960	80.00	320.00
<b>COMPRESORES DE AIRE</b>				
ACEITE PARA SISTEMA DE LUBRICACIÓN (Bidón de 20 l)	2	960	105.80	423.20
FILTROS DE AIRE PARA SUCCIÓN	2	960	65.40	261.60
FILTROS DE ACEITE	4	480	28.00	448.00
ACCESORIOS PARA GOBERNADOR (KIT)	1	960	150.00	300.00
<b>SECADOR FRIGORÍFICO DE AIRE</b>				
SILICAT GEL (CILINDRO DE 55 GAL)	3	960	200.00	1200.00
RESISTENCIAS PARA SECADO	4	960	80	640.00
<b>TANQUE IGUALIZADOR</b>				
VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN	2	960	95.00	380.00
VÁLVULAS DE PURGA	2	480	30.00	240.00

EMPAQUETADURAS PARA MAN HOLE (Plancha)	1	480	60.50	242.00
FUSIBLES PARA TABLERO DE CONTROL	7	960	40.70	569.80
SENSORES DE NIVEL	1	960	53.20	106.40
<b>FILTRO PRIMARIO DE ACEITE</b>				
O'RINGS (KIT)	1	960	50.00	100.00
ELEMENTOS FILTRANTES	1	480	30.00	120.00
<b>SEPARADOR DE GASES</b>				
REPUESTOS PARA VARIADORES DE TENSIÓN (KIT)	1	960	100.00	200.00
<b>LLENADOR DE BOTELLAS</b>				
FUSIBLES PARA TABLERO DE CONTROL	7	960	40.70	569.80
REPUESTOS PARA CONTACTORES	3	960	180.02	1080.12
REPUESTOS PARA CONTROLADORES DE FLUJO (KIT)	2	480	44.00	352.00
REPUESTOS PARA VÁLVULAS DE ALTA PRESIÓN DE LLENADO DE OXÍGENO	2	960	65.20	260.80
<b>COMPRESORES DE OXIGENO</b>				
ACEITE PARA SISTEMA DE LUBRICACIÓN (Bidón de 20 l)	1	960	105.80	211.60
FILTROS DE AIRE PARA SUCCIÓN	2	960	65.40	261.60
FILTROS DE ACEITE	4	480	28.00	448.00
ACCESORIOS PARA GOBERNADOR (KIT)	1	960	150.00	300.00
<b>TOTAL</b>				<b>13382.80</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.4. Beneficio útil:

Tabla 16: Resumen de los costos de mantenimiento.

Ahorro en horas perdidas	+ 29507.64 US\$/año
Costos predictivos	- 2436.00 US\$/año
Costos preventivos	- 13382.80 US\$/año
<b>Beneficio útil</b>	<b>13689.64 US\$/año</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.5. Inversión en tecnología para la implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento.

Tabla 17: Inversión en activos fijos.

ACTIVOS FIJOS	UNIDAD	VALOR UNITARIO (US\$)	VALOR TOTAL (US\$)
Vibrómetro PCE-VD 4	1	6500	6500
Cámara termográfica PCE-TC 32.	1	3800	3800
Megger	1	1200	1200
Instrucción al personal	5	150	750
<b>Costo total</b>			<b>12250</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.6. Retorno operacional de la inversión (R.O.I.)

$$R.O.I. = \frac{INVERSIÓN INICIAL}{BENEFICIO ÚTIL}$$

$$R.O.I. = \frac{12250.00}{13689.64}$$

$$R.O.I. = 0.8948 \text{ años} \approx 10.7 \text{ meses.}$$

## V. DISCUSIÓN:

En el desarrollo de la investigación, se ha establecido la viabilidad técnica-económica de aplicar un sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad, para incrementar la capacidad de producción en la red de oxígeno de una empresa industrial; en tal sentido, luego de haber efectuado un análisis, identificación de los equipos críticos y analizar sus modos y efectos de fallas, se procedió a preparar un programa de mantenimiento al cabo del cual se determinaron nuevos parámetros del RCM que comparativamente con los iniciales, resultaron beneficiosos, tanto en indicadores de disponibilidad y mantenibilidad, como en el respectivo análisis económico, cuyo resumen de costos de mantenimiento otorga un beneficio útil de 13,689.64 US\$/año que, frente a una inversión inicial estimada de 12,250.00 US\$ deriva en una recuperación de la inversión en solamente 10.7 meses de operación de la Planta.

A los principales hallazgos de la investigación, podemos debatirlos comparativamente, con antecedentes referentes y afines para la respectiva contrastación:

Así, con la investigación de Luna (2019), existen algunas coincidencias respecto al análisis de criticidad, mas no necesariamente en lo concerniente a los resultados de indicadores, pues el autor pretende el ascenso de la disponibilidad de los equipos compresores estacionarios GR200 y GA160, hasta un 99.70% y 99.65%, respectivamente y eliminar las paradas inesperadas; en la investigación materia de este estudio, donde las condiciones son muy sensibles de cambio, por obvias razones de control del oxígeno industrial, los indicadores de confiabilidad y disponibilidad han tenido un incremento de 96.25% y 97.74%, hasta 96.39% y 98.46% respectivamente, notándose que con este ascenso, se ha logrado bajar la mantenibilidad de la planta desde 80.18%, solamente al 10.07% que traduce una completa eliminación de paradas de planta por mantenimientos reactivos.

De manera similar, confrontando con la investigación de Vílchez (2019) respecto a la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para reducir fallas en motores de compresión de gas y obtener disminución de horas de mantenimiento y por ende reducir pérdidas económicas del orden de US\$



21,933.84, aplicando el RCM se obtuvo un beneficio de 1.52 US\$/año por cada dólar invertido lo que significó una reducción de costos de 42,158.04 US\$/año y el retorno operacional en corto tiempo, pero no dice cuánto. En la investigación, materia del presente estudio, bajo el esquema económico planteado, se ha determinado un beneficio útil de 13,689.64 US\$/año en forma global que significa un retorno operacional de la inversión de 0.89 años, que aproximadamente es 10.7 meses. Al igual que en el antecedente, también se ha realizado el análisis de criticidad correspondiente de los principales componentes y los AMEF y NPR respectivos.

Respecto a la investigación de Belli (2018), cuya propuesta de gestión de mantenimiento fundamentada en la confiabilidad de motores a gas, establece como aporte principal el planteamiento de incrementar la disponibilidad en los generadores de energía eléctrica sólo del 1%, que bastará para lograr el impacto económico en la empresa. Utiliza en el estudio, metodologías clásicas como la curva de la bañera y la distribución de Weibull para determinar la frecuencia de intervención a los motores, determinando que más del 50% de partes de los equipos son críticos. No se percibe buen análisis ni cálculos convincentes de elaboración de indicadores, sólo se observa una propuesta que, a manera de entender de los tesisistas del presente trabajo, no cumple con las condiciones de diagnóstico; todo ello deriva de la ausencia de un plan de mantenimiento base para realizar un Sistema de Gestión y no una propuesta con identificaciones superficiales como el 50% de partes de los equipos con la calificación de críticos.

Asimismo, el artículo científico desarrollado por Idrogo (2016), trata de una aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad en una planta de procesos térmicos, en el cual utiliza la metodología para incrementar la disponibilidad de 185 motores asíncronos trifásicos, siguiendo las pautas de criticidad de los elementos, AMEF y elaboración de hojas de información. Este trabajo es meramente descriptivo y propositivo donde sus resultados proyectan una implementación basados en la aplicación de nuevos programas para levantar los indicadores y reducir costos, mas no lo plasma con cálculos fehacientes. Lo rescatable es la metodología, la misma que se ha empleado también en esta investigación, pero

con la modalidad de análisis, identificación, planificación y contrastación con resultados reales basado en el NPR y sus valoraciones matriciales.

En contrastación con el siguiente antecedente de Moreno (2017), debemos verificar que éste ha desarrollado una tesis en la cual propone mejorar los índices iniciales de mantenimiento de un compresor estacionario. En su estudio, realizó un plan de mantenimiento RCM obteniendo un diagnóstico operacional a detalle de la operatividad de la máquina, aplicó el AMEF, alcanzando a detectar 47 modos de fallas y 42.55% críticas que sometidas a la implementación del Plan de mantenimiento determinó el incremento de disponibilidad en 25%, confiabilidad en 3% y mantenibilidad en -9%; mientras en la tesis que se está elaborando se han incrementado los indicadores en forma relevante, pero por la naturaleza del rubro que se trata, se observó en la disponibilidad el incremento del 0.683%, en la confiabilidad el incremento de 2.06% y en mantenibilidad del -70%, indicadores que son muy sensibles a la actividad que se desarrolla y desde el principio son del orden del 97% que se elevan, luego de la aplicación del Plan de mantenimiento, a estándares del orden del 98%; pero que sí repercuten en aumento de la producción de oxígeno en el orden del 3% respecto a lo inicial.

Finalmente, en relación al antecedente de Mkalaf (2017), que se trata de un artículo científico de gestión de mantenimiento del orden investigativo acerca de la relación entre confiabilidad de equipos médicos críticos, escogió 14 tipos diferentes de equipos, los evaluó y utilizó parámetros para medir indicadores. La investigación fue del tipo correlacional significativa entre el mantenimiento inicial y las nuevas estrategias de manejo y confiabilidad del equipo médico crítico. La investigación que motiva el presente estudio, contempla todos los parámetros significativos de la planta de oxígeno y se ha realizado la calificación en base a la aplicación simulada del Plan de Mantenimiento y comprobación del incremento de indicadores, que también reflejan incremento de la producción de oxígeno en 3% respecto a condiciones iniciales.

Como fortalezas de la presente investigación podemos señalar a las siguientes:

- Se propuso la determinación de viabilidad técnica económica de aplicar un sistema de gestión de mantenimiento, basada en la confiabilidad para una planta de oxígeno industrial para incrementar la capacidad de producción, y se ha logrado el incremento del 3% en el índice de producción.
- Se diseñó el desarrollo del sistema de gestión en forma ordenada desde evaluación primaria, identificación mediante el estudio analítico de criticidad, Programa de mantenimiento RCM, indicadores antes y después de la mejora proyectada, determinación de parámetros NPR y realización de análisis financiero.
- Se alcanzaron estándares aceptables de incremento de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, acordes a la naturaleza de la Planta, donde los avances y decrementos son muy sensibles y difíciles de controlar; sin embargo, el proceso llevado a cabo de manera pre experimental, ha otorgado resultados favorables.

Como debilidad principal, podríamos identificar la dificultad de establecer la aplicación del sistema por razones obvias del momento coyuntural que vivimos actualmente por la pandemia y porque el tiempo no alcanzaría hasta obtener los resultados post mejora y hacer una nueva evaluación.

## VI. CONCLUSIONES:

- La evaluación inicial de los parámetros de mantenimiento en la red de oxígeno de la planta industrial, materia de la investigación, ha consistido en determinar los tiempos de mantenimiento y producción, así como los tiempos netos mensuales, básicos para obtener los indicadores originales MTBF = 193.33, MTTR = 4.46, disponibilidad del 97.74%, confiabilidad del 96.36% y mantenibilidad del 80% en promedio.
- De acuerdo al análisis de criticidad establecido para identificar las fallas de 10 equipos fundamentales de la red, tomando en cuenta los 5 criterios reglamentarios de frecuencia y consecuencia, se determinaron las fallas críticas, mediamente críticas y no críticas en cada uno de los componentes y áreas de la planta, dando resultados fehacientes de acuerdo a la ponderación del valor de fallas: 5 fallas críticas en motor eléctrico, 4 fallas críticas en compresor de aire, 4 fallas críticas en el secador frigorífico de aire, 5 fallas críticas en el tanque igualizador de presiones, 4 fallas críticas en el filtro primario de aceite, 5 fallas críticas en el separador de gases, 4 fallas críticas en el llenador de botellas de O<sub>2</sub>, 5 fallas críticas en el compresor de oxígeno de A.P., 5 fallas críticas en el motor trifásico 2 y 5 fallas críticas en el área de almacenamiento de O<sub>2</sub>.
- En función a la criticidad obtenida y mediante el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF), se trabajaron con las correspondientes hojas de información y decisiones, las funciones, fallas funcionales, modo de falla y efecto de falla de los 10 equipos integrantes de la red, las fallas preponderantes en cada caso para que, mediante el NPR se determine que 7 fallas (70%) como indeseables, 2 fallas (20%) son reducibles a deseables y 1 falla (10%) se considera aceptable.
- Se ha elaborado el correspondiente programa de mantenimiento para los componentes de la red de la planta de oxígeno, estableciéndose para cada uno las secuencias de atención en mantenimiento diario, semanal, trimestral, semestral, cada 3000 horas de operación y mantenimiento anual, todas las

revisiones y reparaciones sugestivas de acuerdo al uso de herramientas predictivas e indicadores estadísticos del mantenimiento preventivo.

- Se ha determinado a continuación, que en estado de mejora y de acuerdo a la aplicación de los postulados del RCM y en base a los resultados del NPR, la proyección de nuevos resultados de indicadores, cuyo resumen establece como MTBF = 198.94, MTTR = 3.19, disponibilidad del 98.4230%, confiabilidad del 98.4184% y Mantenibilidad del 10.07%, en promedio de 8 meses evaluados. Asimismo, de acuerdo a la proyección diferencial de las indisponibilidades se ha calculado el tiempo de operación mensual en situación de mejora y lo que representará en producción de 6.5 m<sup>3</sup>/min.
- Finalmente, se ha considerado el análisis económico financiero correspondiente al estudio, determinándose: El beneficio económico por reducción de horas perdidas al mes de 2458.97 US\$ (29507.64 US\$/año), gracias al costo de operación calculado de 1800.00 US\$/hr.; el costo por implementación del mantenimiento predictivo, con actividades de análisis de aceite, vibraciones y termografía, ascendentes a 2436.00 US\$/año; y, costos por implementación del mantenimiento preventivo ascendente a 13382.80 US\$/año; lo cual redunda en un Beneficio útil de 13689.64 US\$/año. Definitivamente ello obliga a realizar una inversión en tecnología para la implementación del sistema de gestión de mantenimiento, el mismo que ha sido calculado y asciende al costo total de 12250 US\$ que, contrastado frente al beneficio útil, significa un retorno operacional de la inversión (R.O.I.) en 0.86 años  $\approx$  **10.7 meses**, lo cual se considera positivo para la empresa.
- Se han considerado en anexos: El cuadro de procesamiento de Red de oxígeno industrial de la empresa, la matriz de operacionalización de variables, Formatos de Instrumento de recolección de datos, Encuesta a operadores de mantenimiento en planta, cuadros digitales Excel de cálculos de indicadores iniciales y post-mejora, así como los cálculos de costos principales.

## **VI. RECOMENDACIONES:**

Los operadores y personal técnico de la empresa, deberán ser involucrados en la instrucción de funciones y mantenimiento de los equipos y concientizados en la mejora que se ha realizado, de acuerdo a la implementación del Sistema de gestión de mantenimiento, materia de la investigación, para de esta manera, poder identificar los posibles fallos en potencia de esta planta y establecer planes de mejora continua.

Se recomienda establecer como norma que, por lo menos una vez al año, se repliquen todas las actividades del AMEF y sean actualizadas estableciendo nuevas criticidades y modos de prevenir el efecto de fallas de los equipos encontradas en la presente investigación, además de cumplir estrictamente con lo establecido en las hojas de decisiones reglamentarias.

De manera expresa, se recomienda realizar la institucionalización de inspecciones aleatorias y el seguimiento continuo predictivo de todos los equipos de la red de planta de oxígeno industrial, para así de esta manera poder optimizar el diagnóstico y solución de fallas facilitando la correcta programación de las tareas a considerar en las paradas de mantenimiento. Ello conllevará a conseguir resultados positivos, pues la disminución de tiempos perdidos en operaciones y producción se reflejarán en la obtención de estándares, costos e inversiones satisfactorios.

## REFERENCIAS:

- DUFFUA, D. Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control. Limusa, ed. México, 2002. 404 pp. ISBN 968-18-5918-9
- MONCHY F. Teoría y Práctica del Mantenimiento industrial. MASSON, S. A., Barcelona, 1990, 178 pp. ISBN: 84-311-0524-0
- BALDÍN A, Furlanetto, L, Roversi, F. Manual de mantenimiento de instalaciones industriales. Barcelona, Turco G.G, 1982, 243 pp. ISBN: 84-252-1131-X
- KELLY, A. & HARRIS, M. Management of Industrial Maintenance. Butterworths. London 1978, 136 pp. ISBN: 0-408-01377-X
- BLOCH, Heinz P. Improving Machinery Reliability. Gulf Publishing Co. Houston, 1988, 212 pp. ISBN: 0-87201-455-X
- Machinery Failure Analysis Troubleshooting. H. P. Bloch. Gulf Publishing Co. Houston 1986, 234 pp. ISBN: 0-87201-872-5
- Sawyer Turbomachinery, J. Sawyer's Turbomachinery Maintenance Handbook (3 vol.) International Publications. Norwalk (Connecticut, USA), 1980, 212 pp. ISBN: 0-937506-03-6
- MOUBRAY, J. Reliability Centered Maintenance II. 4ta. Edición, London: Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, 1997, 440 pp. ISBN: 9780750633581
- Macian, Vicente Mantenimiento de Motores de Combustión Interna Alternativos. Universidad Politecnica Valencia, 1993, 248 pp. ISBN: 84-7721-242-2
- INTEGRA, Markets. Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial. 2.a ed. IntegraMarkets, 2017, Lima – Perú, 39 pp. ISBN: 9781370710768
- BELLI, Orlando. Propuesta de gestión de mantenimiento RCM en plantas de energía a gas natural. Tesis (Ingeniero Industrial). Lima Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Escuela de Ingeniería, 2018, 232 pp.
- IDROGO, Wilmer. Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S. A. - Trujillo. Tesis (Ingeniero mecánico electricista). Trujillo Perú: Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería, 2018, 86 pp.
- MORENO, Edwin. Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) al compresor estacionario de tornillo de una etapa de la

empresa metalmecánica Fameca SAC. Tesis (Ingeniero Mecánico). Trujillo – Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, 2017, 127 pp.

- ANÁLISIS de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad por José Aguilar Otero [et al]. Monterrey, México: *Tecnología, Ciencia, Educación*, vol. 25, (1), mayo 2010, ISSN: 0186-6036

- BARROS, David, VALENCIA, Guillermo y VARGAS HENRÍQUEZ, Lisandro. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo: *Scientia et Technica*, Vol. 19, (2), junio de 2014. ISSN 0122-1701

- GASCA, Maira, CAMARGO Luis y MEDINA Byron. Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial: *Revista Información Tecnológica*, Vol. 28(4), abril 2017. ISSN: 111-124

- RAUSAND, M. Reliability Centered Maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 60, (Issue 2), May 1998, Pages 121-132

- BRAUER, D. y BRAUER, G. Reliability Centered Maintenance. *IEEE Transactions on Reliability*. Volume: R-36, (1):24 April 1987, ISSN: 0018-9529

- AFEFY, I. Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. *Engineering*, (2): 863-873, 2010

- Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica por Díaz Concepción, Armando [et al]. La Habana: *Revista de ingeniería Mecánica*. 19 (3) septiembre-diciembre, 2016, pp. 137-142, E-ISSN: 1815-5944.

- DIESTRA Juan, ESQUIVIEL, Lourdes y GUEVARA, Robert. Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. Chimbote – Perú: *Revista científica Ingeniería*. 4, (1) 6 pp. febrero 2017

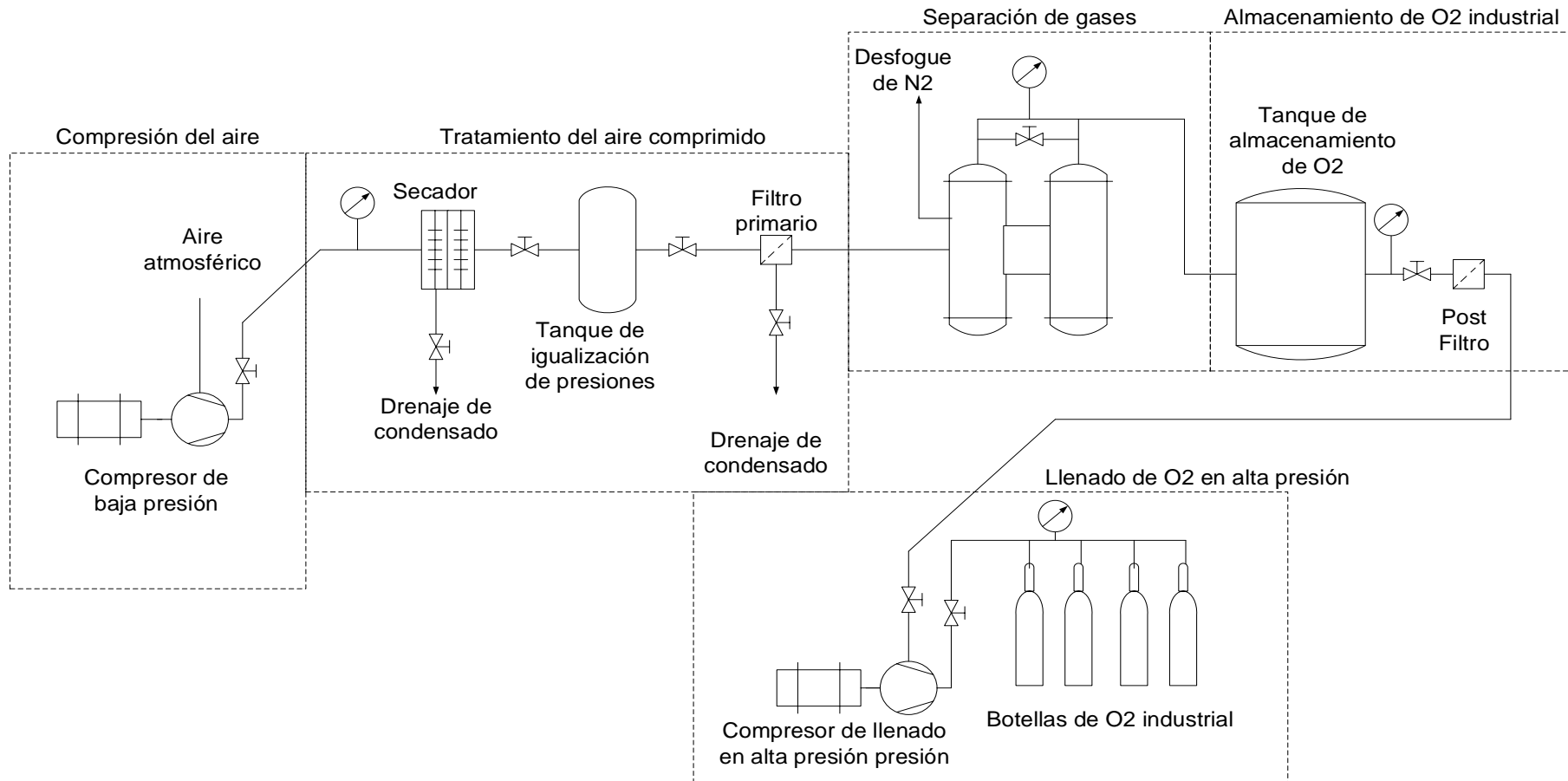
- BARROS, David, VALENCIA Guillermo. VARGAS, Luis. Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo. Pereira – Colombia: *Revista Scientia et Technica*. Universidad Tecnológica de Pereira, 19. (2): 9, junio de 2014. ISSN 0122-1701



- CÁRCEL, F. Características de los Sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento. Revista 3C Tecnología, 9 (5): 68-75, diciembre 2016, ISSN: 2254 – 4143
- AGUILAR, José, TORRES, Rocío; MAGAÑA, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Tecnología, Ciencia, Educación, Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C. 25, (1), pp. 15-26, 2010, ISSN: 0186-6036
- AEM, Asociación española de mantenimiento. (2010). Encuesta sobre la evolución y situación del mantenimiento en España. AEM.
- García, S. (2009). Ingeniería del mantenimiento. Colección mantenimiento industrial, 6. Editorial Renovetec.
- Nowlan, F. y Heap, H. (1978). Reliability Centered Maintenance. U.S: Department of commerce national technical information service. Spriengield. USA.
- Moubray, J. (1991). Reliability-Centered Maintenance. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM. Productivity Press, Cambridge, MA.
- Nakajima, S. (1989). TPM Development Program. Productivity Press, Cambridge, MA.
- Smith M, A. (1992). Reliability Centered Maintenance. McGraw Hill, Inc. School Education Group - New York - USA.
- Sols, A. (2000). Fiabilidad, Mantenibilidad, Efectividad, un enfoque sistémico. Comillas, Madrid.
- UNE-EN 200001-3-11, (2003). Gestión de la confiabilidad: Parte 3-11. Guía de aplicación Mantenimiento centrado en la fiabilidad. AENOR.

## ANEXOS

### Anexo 1. Procesamiento de Red de Oxígeno Industrial.



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 2.** Matriz de Operacionalización de Variables.

Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Definición Operacional	Indicador	Escala de Medición
<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM).</p>	<p>El método RCM desarrolla un análisis de decisión empleando un conjunto de pasos secuenciados y ordenados de manera lógica, con la finalidad de identificar y deducir los riesgos más destacados en el funcionamiento del sistema, desarrollando medios de mitigación y preservando su funcionamiento Goodfellow (2000).</p>	<p>Análisis de criticidad</p>	<p>Es una técnica que sirve para jerarquizar los equipos, instalaciones y sistemas de acuerdo a sus frecuencias y consecuencias.</p>	<p>Criticidad total = Frecuencia x Consecuencia.  Matriz de Criticidad.</p>	<p>Razón</p>
		<p>Análisis Modal de Efectos y Fallas (AMEF)</p>	<p>Identificar los modos de falla potenciales y lo que podría pasar con su efecto, se toman los controles para identificar las causas cuando estas ocurren luego de identificar los modos de falla posible,</p>	<p>Hojas de información se determinará los modos de fallas y efectos de falla de cada falla funcional</p>	<p>Razón</p>
		<p>Numero de prioridad de riesgo (NPR)</p>	<p>Se establece un valor para la jerarquización de los problemas, Con esto podemos identificar donde podemos atacar los modos de falla previa jerarquización, conociendo los elementos más graves.</p>	<p>NPR = Grado de Ocurrencia* Severidad * Detección.  Rango de prioridades.</p>	<p>Razón</p>

<b>Variable dependiente:</b>  Incremento de la capacidad de producción.	Se define como el volumen de productos que es capaz de generar una planta en un período determinado, empleando recursos disponibles para su uso. Corvo, (2019)	Disponibilidad D(t)	El porcentaje del tiempo en que un equipo o sistema se encuentra listo para su funcionamiento o producción, para sistemas con operación continua.	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$	Razón
		Confiabilidad C(t)	Probabilidad que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes.	$(e^{-\lambda * TTP/100}) * 100\%$	Razón
		Mantenibilidad M(t)	La expectativa de que un equipo o sistema sea colocado en condiciones de operación en un periodo de tiempo establecido.	$1 - (e^{-\mu * T/100}) * 100\%$	Razón

### Anexo 3. Instrumento de recolección de datos

<b>Instrumento de evaluación: Registro de datos</b>				
Proceso:	Generación de Oxígeno industrial			
Objetivo:	Determinación de parámetros de Mantenimiento			
Responsable:	Minaya Mollo Víctor / Benites Farromeque Luis			
Item	Variable: Tiempo de operación hasta la falla	Variable: Tiempo de reparación	Fecha	Observaciones
	h	h		
1	244	5.73	31.07	2020
2	244	5.13	31.08	2020
3	177	3.58	30.09	2020
4	183	3.90	31.10	2020
5	177	4.29	30.11	2020
6	244	5.40	31.12	2020
7	183	4.28	31.01	2021
8	165	4.13	28.02	2021
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
Total, h:				
<b>Parámetros de mantenimiento</b>				
Disponibilidad, %			%	
Mantenibilidad, %			%	
Confiabilidad, %			%	

**Anexo 4.** Encuesta a operadores de mantenimiento en Planta - inicio de proyecto.

1. ¿Ha recibido capacitación en mantenimiento preventivo?

Sí  No

2. ¿Ha participado de alguna auditoría de mantenimiento a la Planta de oxígeno?

Sí  No

3. ¿Ha recibido capacitación en manejo de equipos de técnicas predictivas? en:

Analizador de vibraciones Sí  No

Analizador de viscosidad del aceite Sí  No

Cámara infrarroja Sí  No

Analizador de redes eléctricas Sí  No

Analizador de calidad de energía Sí  No

4. ¿Con qué frecuencia determinan los parámetros de mantenimiento?

Diaria Sí  No

Semanal: Sí  No

Mensual: Sí  No

Trimestral: Sí  No

5. ¿Qué parámetros determinan el mantenimiento?:

Disponibilidad Sí  No

Mantenibilidad Sí  No

Confiabilidad Sí  No

6. ¿Se practica el mantenimiento mejorativo en planta de oxígeno?

Sí  No

7. ¿En qué porcentajes se divide el mantenimiento aplicado a planta de oxígeno?

20% Correctivo y 80 % Preventivo Sí  No

20% Preventivo y 80% Correctivo Sí  No

8. ¿Cuáles considera que son los tipos de fallas más importantes en Planta de oxígeno?

Fallas mecánicas Sí  No

Fallas térmicas Sí  No

Fallas eléctricas Sí  No

Todas a la vez Sí  No

9. ¿Conoce si han repotenciado equipos componentes de la Planta de O2?:

Sí  No

**Anexo 5.** Encuesta a operadores de mantenimiento en Planta - finalizar proyecto.

1. ¿Ha recibido capacitación en mantenimiento preventivo?

Sí  No

2. ¿Ha participado de alguna auditoría de mantenimiento a la Planta de oxígeno?

Sí  No

3. ¿Ha recibido capacitación en manejo de equipos de técnicas predictivas? en:

Analizador de vibraciones Sí  No

Analizador de viscosidad del aceite Sí  No

Cámara infrarroja Sí  No

Analizador de redes eléctricas Sí  No

Analizador de calidad de energía Sí  No

4. ¿Con qué frecuencia determinan los parámetros de mantenimiento?

Diaria Sí  No

Semanal: Sí  No

Mensual: Sí  No

Trimestral: Sí  No

5. ¿Qué parámetros determinan el mantenimiento?:

Disponibilidad Sí  No

Mantenibilidad Sí  No

Confiabilidad Sí  No

6. ¿Se practica el mantenimiento mejorativo en planta de oxígeno?

Sí  No

7. ¿En qué porcentajes se divide el mantenimiento aplicado a planta de oxígeno?

20% Correctivo y 80 % Preventivo Sí  No

20% Preventivo y 80% Correctivo Sí  No

8. ¿Cuáles considera que son los tipos de fallas más importantes en Planta de oxígeno?

Fallas mecánicas Sí  No

Fallas térmicas Sí  No

Fallas eléctricas Sí  No

Todas a la vez Sí  No

9. ¿Conoce si han repotenciado equipos componentes de la Planta de O2?:

Sí  No

## Anexo 6. Tiempos de Mantenimiento y Producción Planta de Oxígeno.

Ítems	MES-año	Tiempo proyectado de producción			Frecuencia de fallas	Falla	Falla	Falla	Falla	Tiempo mantenimiento correctivo
		Días/mes	h/día	h/mes		Veces/mes	1	2	3	
1	Jul-20	30.5	24	732	3	6	4.7	6.5		17.2
2	Ago-20	30.5	24	732	3	5.75	4.4	5.25		15.4
3	Set-20	29.5	24	708	4	2.75	4.15	3.7	3.7	14.3
4	Oct-20	30.5	24	732	4	3.25	4.25	5.35	2.75	15.6
5	Nov-20	29.5	24	708	4	3.5	4.5	5.5	3.65	17.15
6	Dic-20	30.5	24	732	3	5	4.7	6.5		16.2
7	Ene-21	30.5	24	732	4	4.25	3.75	5.6	3.5	17.1
8	Feb-21	27.5	24	660	4	4.5	3	5.25	3.75	16.5
	<b>PROM.</b>	<b>29.88</b>	<b>24</b>	<b>717</b>	<b>3.63</b>					<b>16.18</b>

## ANEXO 7. Calculo de MTBF y MTTR.

Ítem	MES - año	hrs operac	N° paradas	MTBF	Tiempo Mant. Correctivo	$-\lambda * TTP / 100$	CONFIABILIDAD %
1	Jul-20	714.8	3	238.27	17.2	-0.03070	0.96975
2	Ago-20	716.6	3	238.87	15.4	-0.03063	0.96982
3	Set-20	693.7	4	173.83	14.3	-0.04081	0.96000
4	Oct-20	716.4	4	179.10	15.6	-0.04085	0.95995
5	Nov-20	690.85	4	172.71	17.15	-0.04097	0.95984
6	Dic-20	715.8	3	238.60	16.2	-0.03066	0.96979
7	Ene-21	714.9	4	178.73	17.1	-0.04093	0.95987
8	Feb-21	643.5	4	160.88	16.5	-0.04100	0.95980
	<b>PROM.</b>	<b>700.82</b>	<b>3.63</b>	<b>193.33</b>	<b>16.18</b>	<b>-0.29654</b>	<b>0.96360</b>



## CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Cantidad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
<b>Aspectos generales</b>					SI	NO	
Los instrumentos contienen instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.							
Los ítems permiten lograr información de data importante para la investigación.							
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.							
<b>VALIDEZ</b>							
<b>APLICABLE</b>						<b>NO APLICABLE</b>	
<b>APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES</b>							

\_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones

<sup>2</sup> Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables

<sup>3</sup> No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso exacto y directo.

### DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y nombres:

Profesión:

Especialidad:

\_\_\_\_\_

Firma del experto.  
C.I.P

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Cantidad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
8	X		X		X		
9	X		X		X		
<b>Aspectos generales</b>					SÍ	NO	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					X		
Los ítems permiten lograr información de data importante para la investigación.					X		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					X		
<b>VALIDEZ</b>							
<b>APLICABLE</b>					X	<b>NO APLICABLE</b>	
<b>APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES</b>							

<sup>1</sup> Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones

<sup>2</sup> Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables


<sup>3</sup> No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO.**

Apellidos y nombres: *IPARRAGUIRRE LOZANO ARQUIMEDES*

Profesión: *INGENIERO MECANICO*

Especialidad: *MANTENIMIENTO*

  
 Arquimedes Iparraguirre Lozano  
 ING. MECANICO  
 R. C.I.P. 73016

Firma del experto.

*C.I.P. 73016*

## CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Cantidad <sup>3</sup>		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
8	X		X		X		
9	X		X		X		
<b>Aspectos generales</b>					SI	NO	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					X		
Los ítems permiten lograr información de data importante para la investigación.					X		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					X		
<b>VALIDEZ</b>							
<b>APLICABLE</b>					X	<b>NO APLICABLE</b>	
<b>APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES</b>							

<sup>1</sup> Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones

<sup>2</sup> Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables

<sup>3</sup> No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso exacto y directo.

### DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y nombres: *COTOS Barreto Johan*  
 Profesión: *Ingeniero técnico electricista*  
 Especialidad: *mantenimiento*

  
  
**JOHAN G. COTOS BARRETO**  
 Ing. Mecánico Electricista  
 CIP. 286331

Firma del experto.  
 C.I.P266331

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Cantidad <sup>3</sup>		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	x		x		x		
2	x		x		x		
3	x		x		x		
4	x		x		x		
5	x		x		x		
6	x		x		x		
7	x		x		x		
8	x		x		x		
9	x		x		x		
<b>Aspectos generales</b>					SI	NO	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					X		
Los ítems permiten lograr información de data importante para la investigación.					X		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					X		
<b>VALIDEZ</b>							
<b>APLICABLE</b>					X	<b>NO APLICABLE</b>	
<b>APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES</b>							

<sup>1</sup> Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones

<sup>2</sup> Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables

<sup>3</sup> No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO.**

Apellidos y nombres: RISCO OJEDA RUSBER ALBERTO

Profesión: INGENIERO MECANICO

Especialidad: MANTENIMIENTO

RUSBER ALBERTO RISCO OJEDA

C.I.P. N° 72527