



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR
ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS
EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE LAVADEROS DE UNA EMPRESA
AZUCARERA**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECÁNICO
ELÉCTRICO

AUTOR

LEYVA ALCAZABA, JENNS DERICK (ORCID: 0000-0003-0496-538)

ASESOR

JORGE ROGER ARANDA GONZALES (ORCID: 0000-0002-0307-5900)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

SISTEMAS Y PLANES DE MANTENIMIENTO

TRUJILLO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

A mi Padre Celestial, que nunca me ha desamparado y me ha dado oportunidades para mejorar y crecer como profesional.

A mis Padres por su apoyo incondicional, por motivarme a seguir desarrollándome como profesional, por haberme cultivado buenos principios y valores.

A mi esposa e hijos, que son el motor de mi superación, los que siempre han estado allí para levantarme en momentos de pruebas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Padre Celestial por darme la vida y por colocarme con una familia grandiosa, a mi esposa y a mis 2 hijos por ser el combustible de mi vida, a mi maravillosa madre por motivarme a seguir adelante y a crecer profesionalmente, a mi gran Padre por estar pendiente de mis logros y por sus sabios consejos, a mi asesor, el cual con su amplia experiencia y estudios me ayudó a desarrollar y mejorar mis competencias, los cuales han sido y serán de gran ayuda en el ámbito laboral y personal, a mis tutores de las distintas áreas por guiarme en este camino profesional, a la Universidad por facilitarme las herramientas, para llegar a cumplir mis objetivos como estudiante.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
II. MÉTODO	29
2.1 Diseño de investigación	29
2.2 Identificación de Variables	29
2.2.1 Variables Independientes, cuantitativas	29
2.2.2 Variables Dependientes, cuantitativas	29
2.2.3 Operacionalización de Variables Independientes:	30
2.3 Población y muestra, selección de la unidad de análisis.	32
2.3.1 Población	32
2.3.2 Muestra	32
2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	32
2.5 Procedimientos:	33
2.6. Métodos y análisis de datos	34
2.6.1 Análisis descriptivo	34
2.6.2 Análisis Inferencial	34
2.7 Aspectos éticos	34
III. RESULTADOS	35
3.1. Determinar la Disponibilidad de los equipos en la actualidad	35
3.1.1 Descripción de la empresa Azucarera	35
3.1.4 Disponibilidad existente de los reportes de los tiempos perdidos	44
3.1.5 Elaboración Diagrama de Pareto	46
3.2. Plan de mantenimiento a través del análisis Vibracional	50
3.2.1 Creación de Layout para el monitoreo de condición de los equipos	51
3.2.2. Creación de rutas para el monitoreo de condición de los equipos	52
3.2.3 Establecimiento de los Niveles de Alarma	61
3.2.4 Proceso del análisis Vibracional	62
3.2.5 Esquema del proceso del análisis Vibracional	63

3.2.6 Análisis Vibracional:.....	64
3.2.7 Diagnóstico de los 8 equipos críticos:	64
3.2.8. Plan de Acción tras realizar el análisis de Vibraciones	73
3.2.9. Costo del Plan de acción.....	77
3.3. Modelar Y Simular En El Software Promodel Para Determinar La Disponibilidad De Los Equipos.....	78
3.3.2. Propuesta de Simulación de mejora tras emplear el Análisis vibracional a los equipos con mayor incidencia de fallas en el programa Promodel 2016	81
3.3.3. Disponibilidad tras efectuar el análisis Vibracional.....	83
3.3.4 Simulación Promodel	84
3.4 Incidencia De La Disponibilidad En Los Equipos Tras La Simulación En Promodel	87
3.5 Factibilidad Económica	89
3.5.1 Costo Para El Mantenimiento De Los Equipos	89
3.5.2 Inversiones Para La Propuesta De Mejora.....	90
3.5.3 Costos De Producción	90
3.5.4 Beneficio	92
3.5.5 Retorno Operacional De Inversión (R.O.I)	92
3.5.6 Comparación de la Disponibilidad a nivel inferencial.	93
3.5.7 Prueba De Normalidad	93
IV. DISCUSIÓN	95
V. CONCLUSIONES	97
VI. RECOMENDACIONES.....	99
Bibliografía.....	100
ANEXOS TABLAS	102
ANEXOS FIGURAS.....	120
ANEXOS CÁLCULOS.....	128

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación titulada “Propuesta de mejora del mantenimiento predictivo por análisis vibracional para aumentar la disponibilidad de los equipos críticos del área de lavaderos de una empresa azucarera”, el cual se realizó por la necesidad de erradicar los problemas latentes, fallas mecánicas y operacionales el cual generan tiempos de paradas no programadas, para ello se aplicó métodos deductivos, con una investigación de tipo pre experimental, a una población de 20 equipos del área de Lavaderos de la empresa azucarera, obteniendo como principales resultados, un promedio de disponibilidad actual de los equipos críticos equivalente a 75.02% para lo cual se estableció una propuesta de mejora del mantenimiento predictivo por análisis vibracional logrando incrementar la disponibilidad de los equipos críticos a 97.26%, se elaboró la prueba de hipótesis estadística planteada T student adquiriendo los resultados menor a 0.05, lo que faculta la argumentación que la propuesta de mejora del mantenimiento predictivo por análisis vibracional aumentará la disponibilidad de los equipos de la empresa Azucarera.

Se concluyó que la implementación del proyecto es viable y se logrará aumentar un 20.43% de disponibilidad.

Palabras clave: Disponibilidad, confiabilidad, análisis vibracional, mantenibilidad, mantenimiento predictivo

ABSTRACT

In this research work entitled "Proposal to improve predictive maintenance by vibrational analysis to increase the availability of critical equipment in the laundry area of a sugar company", which was carried out due to the need to eradicate latent problems, mechanical and operational failures which generate unscheduled downtimes, for this purpose deductive methods were applied, with a pre-experimental investigation, to a population of 20 teams in the Laundry area of the sugar company, obtaining as main results, an average of current availability of critical equipment equivalent to 75.02% for which a proposal for improvement of predictive maintenance by vibrational analysis was established, increasing the availability of critical equipment to 97.26%, the statistical hypothesis test proposed T student was developed by acquiring the results less than 0.05, which The argument is empowered that the proposal to improve predictive maintenance by vibrational analysis will increase the availability of the equipment of the Sugar Company.

It was concluded that the implementation of the project is viable and will increase 20.43% availability

Keywords: Availability, reliability, vibrational analysis, maintainability, predictive maintenance

INTRODUCCIÓN

En las industrias de hoy en día los sistemas de producción están evolucionando cada día en busca de la mejorar la eficiencia, el pensamiento detrás de todo esto es: realizar y/o ejecutar la producción que se necesita, en el momento apropiado, con la mínima ejecución de sus recursos y/o demandas. Con los avances de la tecnología, la industria se vuelve más complicada, convirtiendo a las industrias automatizadas en las que llevan la delantera debido a sus cadenas de producción avanzadas.

La finalidad primordial de las diferentes operaciones de mantenimiento es asegurar el funcionamiento confiable de las máquinas para las actividades requeridas, teniéndolas operativas en sus funciones y guardando los requerimientos de seguridad, calidad y medio ambiente. Esta empresa del rubro azucarero con sede en el Perú, se ocupa primordialmente en el sector agrícola. Sus actividades incluyen el cultivo, procesamiento, industrialización y comercialización de la caña de azúcar y subproductos. La Compañía es miembro de Grupo Gloria, un grupo que comprende una serie de empresas activas en los sectores de procesamiento de alimentos, agrícola e industrial.

En el 2015, se tuvo un descenso de 3.8% en la molienda de extracción de caña a comparación al año 2014; consiguiendo una cosecha en sus distintos campos de 2'311,771 Toneladas Métricas de caña, en lo cual el 96.49% se desarrolló en nuestro ingenio. El área cosechada fue de 14,742 hectáreas, registrándose un aumento de 11.08% comparado al 2014. (AUDITADOS, Bolsa de Valores Lima, 2015)

En el 2016, se tuvo un descenso de 14.59% en la molienda de caña propia a comparación al año 2015; consiguiendo una cosecha de 1, 974,590 Toneladas Métricas de caña, de las cuales el 92.18% se efectuó en nuestro ingenio azucarero. El área cosechada fue de 15,130 hectáreas, registrándose un aumento de 2.63% comparado al 2015. (AUDITADOS, Bolsa de Valores Lima, 2016)

En el año 2017, se logró obtener un descenso de 25.99% en la molienda de caña propia a diferencia del año 2016; consiguiendo una cosecha de caña en los distintos campos de 1'461,373 Toneladas Métricas de caña, de estas se obtiene el 98.17% se efectuó en nuestro ingenio

azucarero. El área cosechada fue de 10,391 hectáreas, registrándose un descenso de 31.32% respecto al 2016. (AUDITADOS, Bolsa de Valores Lima, 2017)

En el 2018 se tuvo un aumento de 23.51% en la molienda de caña propia a comparación al año 2017; consiguiendo una cosecha de 1'804,951 Toneladas Métricas de caña, de las cuales el 99.24% se desarrolló en nuestro ingenio. El área cosecha logró alcanzar las 10,980 hectáreas, obteniendo un aumento de 5.66% correspondiente al 2017. (AUDITADOS, Bolsa de Valores Lima, 2018). En la actualidad la disponibilidad ejerce un papel muy importante dentro de la organización, permitiéndonos cuantificar el tiempo de funcionamiento de un equipo de una forma provechosa. Debemos saber que, si aumenta la disponibilidad, tendremos mejores resultados ya que alcanzaremos un aumento en la productividad y un mejor rendimiento sobre los activos, siendo mejor competidores en el mercado. Esta empresa del rubro azucarero opera las 24 horas del día, por ende, los equipos de cada área trabajan a su máximo rendimiento recomendado, pero existen anomalías que provocan paradas en los procesos que hacen difícil llegar al cumplimiento del objetivo de producción, estas paradas que no se programan generan una significativa pérdida en las diferentes áreas (Calderos, Trapiche, Fabrica, Destilería y Lavaderos), hay diferentes factores por las cuales se dan estas paradas no programadas, ocasionando tiempos muertos o perdidos, afectando el óptimo desarrollo del proceso azucarero entre los cuales resalta la calidad y el procesamiento en las etapas para lograr al resultado final el cual es obtener el azúcar en sus distintas presentaciones y su derivados. Al mencionar “tiempos perdidos”, estamos hablando de fallas existenciales que suceden en la planta por motivo de paradas inesperadas o fortuitas, en la que mencionaremos dos factores importantes, el tiempo perdido debido a las paradas mecánicas y paradas efectuadas por el factor humano las paradas operacionales.

Uno de los métodos esenciales y/o técnica aplicada en la Gestión de los indicadores del mantenimiento para mejorar la funcionalidad, es el mantenimiento predictivo, este tiene como primordial finalidad, como su nombre lo dice, predecir las fallas antes que estas ocurran o acontezcan; en otras palabras, tratar de anticipar y descubrir las señales o indicios de falla, evitando que algún elemento deje de trabajar en buenas condiciones. Por ejemplo, la elevada vibración en las máquinas que se encuentran en movimiento o rotando, reduce la existencia operativa de los rodamientos, cojinetes, acoples y otros elementos importantes de las maquinas;

es por ello la razón de prevenir dicho problema, subsanando a la brevedad posible las causas que originan las mencionadas vibraciones elevadas. Con respecto a las técnicas de vibraciones rudimentarias en los años 40 y 50 en Europa, se usaban los siguientes procedimientos experimentales: Se ubicaba una moneda y/o un vaso lleno de agua con los equipos funcionando con el fin de observar la vibración en la máquina y según ellos observaban e intuían grosso modo si era indispensable o no el reemplazo de sus componentes internos, como rodamientos, engranes. Esto era una desventaja, el no conocer las circunstancias en las que estaban funcionando los equipos, cuando la producción se ve frenada por una falla inesperada o prematura, realza el valor de añadir el análisis vibracional a las distintas funciones del mantenimiento. El análisis vibracional se basa en interpretar y darle una explicación a las señales de vibración y así diagnosticar y ubicar la pieza próxima a fallar de tal manera que se pueda elegir la mejor opción previamente contemplada, no perjudicando la cadena productiva por los motivos económicos que una parada no programada acarrea.

Los estudios han demostrado que un programa de mantenimiento preventivo exitoso puede proporcionar una reducción del 30% en los costos de mantenimiento en comparación con un programa de mantenimiento de averías. En nuestro Perú, los métodos de gestionar el mantenimiento de la gran mayoría de empresas contienen una visión a corto plazo focalizada en la minoración del presupuesto del área de mantenimiento y, por ende, varias tareas que se deberían ejecutar, son desatendidas debido a obstáculos o limitaciones de naturaleza económica dejando así a un lado la razón de que la tarea más importante del mantenimiento es prolongar o conservar de manera óptima las diferentes máquinas. En las actividades industriales del Perú, la defectuosa atención del mantenimiento de los equipos provoca tiempos muertos en la cadena productiva por fallas de las máquinas. Esto se observa en las famosas paradas no programadas o paradas de emergencia no previstas por la carencia de una gestión efectiva de mantenimiento de las máquinas en cuestión. El mantenimiento reactivo o correctivo como también se conoce, es efectuado con la aparición de las fallas, denotando que a tales empresas les falta mejorar su sistema de gestión, ya que hacen operar sus equipos hasta que estas fallen o se dañen. Lastimosamente, en muchas empresas de nuestro País, el hábito que se sigue es que, si la máquina o equipos no presenta problemas o, en otras palabras, “se para” entonces no hay porque darle el mantenimiento correspondiente. Las consecuencias de tales acciones son muy críticas

ya que se tienen que detener las labores hasta que se cuente con él la pieza de repuesto correspondiente y en el caso que no haya ese repuesto, a hacer el pedido y a esperar que llegue, o de lo contrario, intercambiar la maquina o el equipo si la necesidad lo requiere. En el presente año 2019, se pudo documentar 2208 horas inertes por paradas las cuales no fueron tomadas en cuenta en la programación en el área de Lavaderos, donde se registraron con mayor suceso.

- Muy elevada Vibración
- Ruptura y desgaste de los martillos y machetes.
- Elevadas temperaturas en los elementos rodantes (rodamientos)
- Escasa de Lubricación en los elementos rodantes (rodamientos)
- Fisuras en las chumaceras.
- Ruptura en los Sistemas de transmisión de potencia.
- Rotura de arrastradores en los conductores
- Descarrilamiento de las cadenas de arrastre en los conductores.
- Atascamiento de caña, piedras en los conductores.

La empresa manifiesta una gran intranquilidad por la producción de azúcar, alcohol y sus derivados, si las paradas imprevistas continúan ejecutándose, exponiéndose a baja producción, aumento de costos por mantenimiento, demora en la elaboración y/o entrega del producto, perdiendo la confianza del cliente final. Se desea aumentar el rendimiento operacional asegurando por un mínimo de 90% la funcionabilidad de las máquinas, mejorando así de este modo la confiabilidad de los activos. Para el aporte en este proyecto se toma como referencia los trabajos previos como o es la tesis del autor (HERNÁNDEZ, 2013) buscó acrecentar el monitoreo basado en condición de las palas electromecánicas de la unidad minera Doña Inés de Collahuasi. Aclara que sus equipos con mayor relevancia en los procesos de fabricación son las palas debido a que están encargadas de realizar el llenado de entre 10-15 camiones con material, los cuales transportan materia prima para el respectivo proceso, una avería no programada en una de las palas, perjudica grandemente la producción. Por ello, es de suma importancia la correcta planificación en el mantenimiento de las palas. Los reportes de vibraciones emitidos por el monitoreo basado en condición que ejecutaba el personal técnico de mantenimiento de Bucyrus en la representada carecían de calidad o, en otras palabras, no se anticipaban a los fallos críticos causando que el mantenimiento predictivo no sea muy efectivo. Esto conllevó a que las

inversiones económicas y esfuerzos de ingeniería de mantenimiento se enfoquen en optimizar el monitoreo de vibraciones.

Se alcanzó a ejecutar un proyecto conciso que logró poner en práctica un sistema eficaz de monitoreo de equipos por los siguientes tres años, debido a que el proyecto se destinó a ejecutar las primeras investigaciones por el equipo especializado de CADETECH y así ir creando una gestión efectiva de mantenimiento predictivo, se espera que esto se refleje en el crecimiento de la disponibilidad de las flotas y con esto sea posible replicar los casos de éxito que tiene la compañía en otras áreas. En la tesis del autor (JASSO, 2011), se sostuvo que el principal objetivo, es desarrollar una gestión de mantenimiento predictivo de acuerdo a la demanda de la compañía, con el fin de brindar la confiabilidad con una actividad óptima de los equipos en las distintas áreas de producción de autopartes, componentes y suspensiones en AGR-RACKEND en esta fábrica. Con el fin de poner en pie el mantenimiento predictivo se ejecutó como primera instancia la evaluación previa para conocer los equipos críticos en el proceso y se realizó a través de un sistema informático. Se constituyó una inspección, monitoreo y seguimiento para poder efectuar un plan correcto y afirmar la confianza en el mantenimiento. Lo que se obtuvo ayudó a tener una disponibilidad de las máquinas de la planta, de casi al 100 %. De este modo se llegaron a minorar los costos de mantenimiento y operación. Por lo consiguiente se pudo llegar a una estimada conclusión de que el establecimiento del mantenimiento predictivo de la compañía AGR-RACKEND en la fábrica de Tula, solucionó los inconvenientes en el control del sistema de gestión de mantenimiento, teniendo una planificación basada en disponibilidad y confiabilidad de los equipos que perjudicaban la cadena productiva. Esta tesis brinda muchos ejemplos en el empleo de técnicas predictivas y grandes beneficios al poder identificar inconvenientes anticipándose a las fallas.

En una tesis, el autor (ACEVEDO, 2012) recalcó que su principal enfoque fue implementar un modelo práctico de gestión para el mantenimiento predictivo adaptado a la producción de una compañía de petróleo. Para lo cual pudo definir que la compañía petrolera Hocol S.A. debe tener en funcionamiento el 95% de la parte mecánica para tener un alto retorno en el negocio; pero se ve que la disponibilidad de los equipos antes de poner en marcha el programa estaba a un nivel de 90% como consecuencia de los fallos reincidentes en las máquinas auxiliares y principales, perjudicando las percepciones de la compañía por los errores en la producción e ineficiencia.

Efectuamos el respectivo análisis haciendo uso de la herramienta causa-raíz, pudiendo predecir las fallas antes que estas sucedan, de la misma manera, se minoraron los fallos en la corriente eléctrica que venían afectando la fabricación, las cuales se detectaron con inspecciones termográficas e inspecciones visuales.

También nos hace mención del análisis en la criticidad de las máquinas, con el fin de concentrarse en lo que más importa y el método puesto en ejecución tuvo un impacto en el mantenimiento, la fabricación y seguridad de la empresa. Los métodos que se aplicaron son: termografía, ultrasonido, seguimiento de características eléctricas y análisis del aceite.

Se obtuvo como producto la minoría de contingencias operativas debido a la falta de una detección anticipada de fallas, previniendo paradas inesperadas y daños catastróficos, se aumentó el período de operación y disponibilidad de las máquinas al reducir la pérdida en la fabricación. Para lograr la implementación se trabajó durante un año y medio el cual se obtuvo un ahorro de \$896,716. Se cooperó también en el enriquecimiento de la cultura administrativa, ya que los colaboradores que se acoplaban en el proyecto, se encontraron con una nueva forma de trabajo, efectuándolo de manera más ordenada, regenerando el perfil con el cliente.

En otra investigación del autor (ARÉVALO, 2012), llegó a un análisis y evaluación del método ISHIKAWA en las variables en análisis, se llegó a contemplar un desperfecto en la estructura de la parte integral del mantenimiento el cual se ve reflejado en las máquinas del área de flotación, uno de los causantes encontrados, es la carencia o privación de entrenamiento de las personas involucradas en el mantenimiento de las diferentes herramientas para el uso de los distintos métodos de mantenibilidad, confianza y funcionabilidad de los sistemas y equipos, esto demuestra que carece de un mantenimiento predictivo y en consecuencia no se ha hecho una evaluación de los número de equipos críticos que hay en las distintas líneas de proceso y tampoco hay un inventario de los fallos para ejecutar un estudio. Las carencias de la aplicación de herramientas en las técnicas predictivas afectan al proceso resultado a ello se realizan mantenimientos por períodos o preventivos cada treinta días, lo que denota costos elevados para dicha empresa.

Se efectuó el correspondiente análisis de las máquinas para identificar su nivel de prioridad y realizar el seguimiento para hallar potenciales fallos, el no aplicar el método predictivo, trae a

continuación los fallos o problemas prematuros de las principales máquinas que paralizan la cadena productiva y causan la pérdida de 7500 ton/día.

Gracias al desenlace visto se resume que usando el método predictivas se alcanza un resultado óptimo para la gestión del mantenimiento, posibilitando una mejor toma de decisiones, aumentando la funcionalidad y confiabilidad de las máquinas críticas.

Se puede apreciar en el caso de análisis, que las cinco máquinas prioritarias previamente analizados, después de la aplicación del método, alcanzando un periodo entre fallas (TMEF o MTTR) de 2850 horas, encontrándose en condiciones óptimas de trabajo. Con respecto al tiempo medio de reparación (TMDR o MTTR) se minimiza al máximo, dando lugar a una elevada confianza que como media de las 5 máquinas estudiadas es de 99.8%.

Según su investigación, el autor (PARRA, 2016) tuvo como objetivo implementar una gestión de mantenimiento adaptando el método de mantenimiento cimentado en la confiabilidad (RCM) para máquinas prioritarias teniendo la finalidad de reducir el índice de fallos.

Se concluyó que mediante la ejecución del método en la gestión de mantenimiento y la ejecución de las tareas correctivas identificadas a través de la metodología mencionada (RCM), se logró disminuir un 45% la tasa total de las fallas, del mismo modo, el autor de la tesis nos brinda diferentes recomendaciones, las cuales son: realizar de manera periódica un análisis de criticidad debido a que la tasa de fallos es una variable que se no mantiene en el tiempo, así mismo la planificación de mantenimiento debe ser reanalizada por períodos de tiempo por razones de que el sistema operacional es fluctuante, se aconseja el continuo entrenamiento del personal o colaborador de mantenimiento en el método RCM y en tópicos que se relacionan a la gestión de mantenimiento para que el establecimiento pueda ser incluido en otras máquinas.

Las Teorías relacionadas al tema son de gran aporte para este proyecto, según la fuente citada el autor cita que el mantenimiento es la agrupación de técnicas asignadas a mantener instalaciones y equipos en servicio o funcionamiento, por el periodo de tiempo oportuno

(buscando la más alta disponibilidad) y con el rendimiento máximo. (SANTIAGO, 2010), Existen las siguientes clases de mantenimientos: Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo. Ninguno de las clases que me mencionan anteriormente se usa de manera única, se debería ejecutar una correcta mezcla de las anteriores categorías. Esto consiste, en definitiva, en efectuar una correcta selección de las plantas o de los equipos a los que se va a aplicar cada uno de los tipos de mantenimiento anteriores. Seguidamente se hace una descripción de cada uno de los tipos enunciados. (GÓMEZ DE LEÓN, 1998). El autor (ACEVEDO, 2012) interpreta como mantenimiento correctivo a la corrección de defectos o fallos en el momento en que se suscitan. Generalmente son alertados por los usuarios durante el momento de trabajo, implicando la detención del equipo y por ende de la marcha. Como obvia consecuencia, esto genera pérdidas económicas para la compañía; por lo cual, es menester reparar las fallas en tiempo récord para continuar el trabajo. El mantenimiento correctivo se divide en: De emergencia o no programado, rutinario o programado. El mantenimiento preventivo persigue como objetivo alcanzar un nivel de trabajo óptimo en las máquinas, mediante la programación e intervenciones y con ello evitar los fallos. Los equipos son revisados durante las paradas programadas, aunque el equipo no presente defectos. Para este tipo de mantenimiento es requerido tener una correcta planificación de paradas que permitan al personal del equipo de Mantenimiento, realizar las inspecciones y acciones de mejora. Este mantenimiento requiere acciones de corrección que generalmente significan el cambio de piezas en mal estado, cambio de aceites y lubricantes, etc. Este mantenimiento, debe disminuir la probabilidad de la ocurrencia de incidencias. (ARÉVALO, 2012). El autor (DÍAZ, 1999) cita que el mantenimiento predictivo que en esta clase de mantenimiento se usa indicadores físicos los cuales son utilizados como constantes para obtener información constante de cómo se encuentra el o los equipos. Para esto, se utiliza tecnología que indica con precedencia la aparición de condiciones de falla. Estos parámetros pueden ser el análisis de partículas de desgaste, el análisis vibracional, el análisis de la corriente del motor y la termografía. Estas herramientas permiten arreglar las condiciones cuando aún son leves, sin producir daños colaterales y con paradas programadas para su corrección, teniendo los recursos necesarios a la mano. Las Técnica utilizada en el mantenimiento Predictivo se mencionarán las más utilizadas: Análisis Vibracional, análisis de Lubricantes, análisis Por Ultrasonido, análisis Termográfico. Según el autor (DÍAZ, 1999) los Aspectos básicos del Análisis de Vibraciones en el análisis de

vibracional mecánico es utilizado como método para el mantenimiento predictivo y tiene como meta, garantizar la adecuada operación de los equipos mediante la observancia permanente de sus niveles de vibración. Este método, considera a cada equipo de forma individual. Tiene como ventaja que no se necesita recurrir a desmontajes. Las vibraciones mecánicas, son buenos indicadores de condiciones anormales; debidas a ello, sirve como un buen parámetro para el mantenimiento predictivo. (DÍAZ, 1999). Las vibraciones producen desgaste y deterioro en las máquinas al ser estas originadas por intercambio de fuerzas. Según el autor (VILLANUEVA, 2006) los principios del análisis vibracional son los siguientes: El patrón de referencia base de la máquina es aquel que es producto de los defectos de fabricación. Todo equipo tiene un nivel de ruido y vibración característico. Los defectos en los equipos generan un detectable aumento en el nivel de vibración.: El procedimiento de análisis por vibraciones mecánicas es usado para el mantenimiento predictivo de equipos ya que permite detectar con precisión las variaciones en el comportamiento normal. Para lo cual expone las Ventajas y desventajas del análisis por vibraciones: Las desventajas del método correctivo frente al predictivo utilizando el análisis de vibraciones se mencionan a continuación: Reemplazo de piezas, mantenimientos prolongados, se requiere mayor cantidad de personal, implica mayor cantidad de piezas de repuesto en almacenes, grandes paradas de producción. Las ventajas del método predictivo por análisis de vibraciones: Reconocimiento temprano de defectos sin necesidad de paradas o desmontajes, Permite hacer seguimiento a los defectos hasta su intervención por ser un posible riesgo, permite tener los repuestos y el personal adecuado disponibles para la reparación en la fecha programada de intervención, las reparaciones son programadas para los tiempos muertos de producción, el tiempo de intervención es menor al tener bien identificados los elementos averiados o posibles fallas, aumento de la producción por disminución de paradas, permite encontrar las condiciones óptimas de la máquina, trae como consecuencia seguridad para los usuarios, hace la toma de decisiones más fácil, genera ventajas ambientales al reducir la emisión de ruido, protege al personal al reducir la vibración y ruido. El autor (VILLANUEVA, 2006) cita que la vibración es el movimiento de un cuerpo oscilando en rededor de una postura de equilibrio, inducido por un estímulo interno o externo. Parámetros para medir la Vibración: Frecuencia esta indica la velocidad de reincidencia de un fenómeno, cantidad de veces que reincide un evento en un período, la unidad de medida de frecuencia es el Hertz, donde 1 Hz es un evento que tiene lugar una vez por segundo.

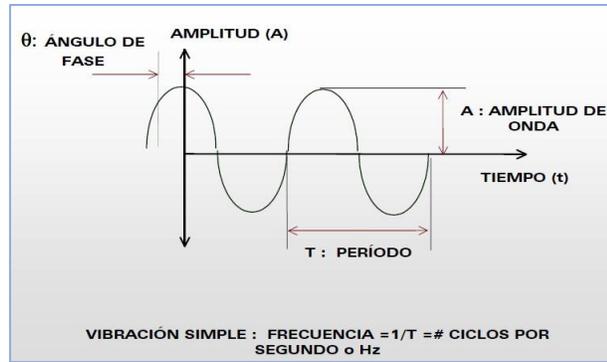


Figura 1.- La frecuencia

El autor (VILLANUEVA, 2006) cita La amplitud de vibración da una noción del estado de máquina. En la siguiente figura se ve cómo es posible cuantificar la amplitud de la aceleración, desplazamiento o velocidad

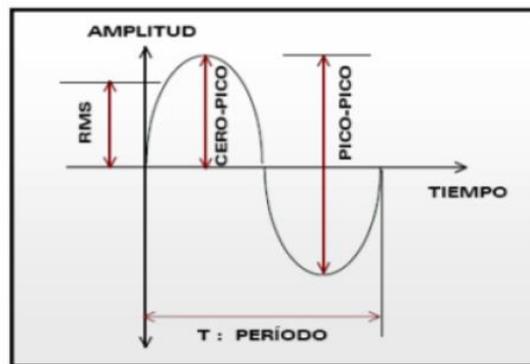


Figura 2.- Amplitud de Vibración

Es posible cuantificar en amplitud pico, amplitud pico- pico y amplitud RMS. Según fuente del autor (VILLANUEVA, 2006) el desplazamiento de la vibración es interpretado como el trayecto recorrido por el elemento en vibración, entre dos partes opuestas del recorrido. Se debe medir cuando haya la posibilidad de que la avería se suscite en la zona de frecuencias bajas. Para el autor la Velocidad de la vibración (mm/s) es la velocidad de vibración controlada permite identificar patrones de fallas cuando tienen una desalineación, estado de desbalanceo, holgura mecánica u otros. Análisis de espectros de frecuencia: Un espectro FFT es un método útil al indagar de un posible inconveniente en el equipo. Este brinda información muy útil para detectar la ubicación y el causante del fallo, siendo este uno de los trabajos más complicados en el análisis del estado de las máquinas. El método de análisis espectral es sugerido como solución a

problemas de vibracionales ya que los defectos de vibración usualmente se generan a frecuencias distintas. A través del análisis espectral se reconocen los causantes de la vibración y se analiza la tendencia obteniéndose una aproximación del momento en que los problemas son transformados en relevantes. Los espectros de frecuencia comúnmente hacen mención a la frecuencia de giro de la máquina en evaluación, correspondiéndole el valor de IX. En caso existieran armónicos o subarmónicos, sería entonces la frecuencia de giro: 2 X, 3 X, 4 X, 1 X, 1/3 X, etc.

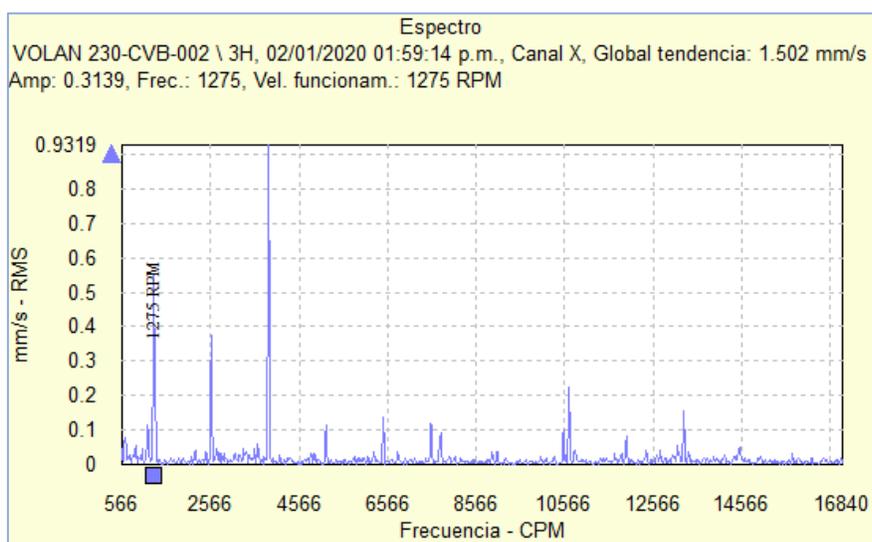


Figura 3.- Espectro de Frecuencia

EL autor (VILLANUEVA, 2006) expone la determinación de los niveles de vibración como la identificación de parámetros comunes de vibración es de los puntos más cruciales entre el trabajo de organización y planificación para la puesta en práctica del juicio predictivo mediante vibraciones mecánicas de una compañía. La mala evaluación de esta variable trae consecuencias críticas para el equipo y para la compañía, dependiendo de la importancia de la máquina. La evaluación del nivel correcto de vibración de un equipo dado, los partes que determinarán cuál será la cantidad que se elegirá a modo de patrón, quedan íntimamente relacionados con el expertis de los operarios que trabajan con la máquina, condiciones vibracionales de la misma y velocidad con que se trasforman los parámetros vibracionales. En relación se debe tener conocimiento de los valores de otras máquinas de su clase o similares y cuáles son las magnitudes sugeridas por las reglas internacionales para vibraciones mecánicas. El análisis de tendencia requiere la toma de muestras se ejecute en los mismos puntos de medición, estos

requieren ser elegidos teniendo en cuenta la estrategia establecida para el análisis del equipo, conservándose en las siguientes, las mismas condiciones de la toma de muestra.

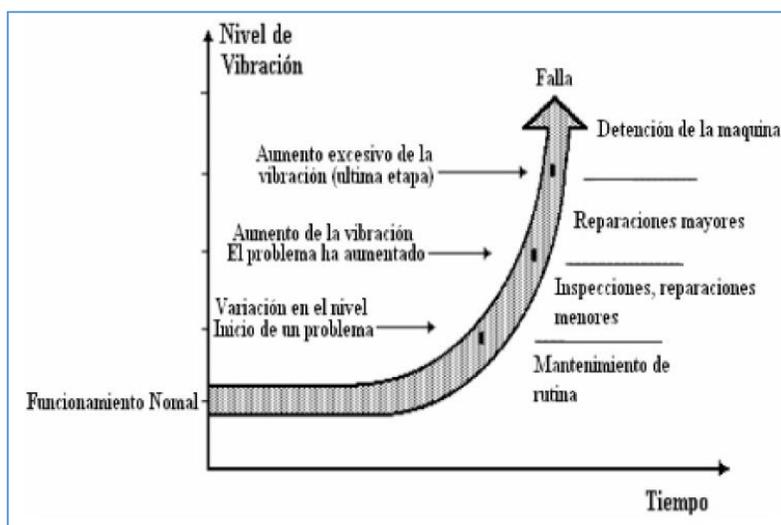


Figura 4.- Gráfica de Tendencia de una Máquina Rotativa

El autor (SKF, 2010), cita los Niveles de bandas de frecuencias espectrales. Son niveles de vibración indicados para múltiples puntos de medición de las máquinas en parámetros de frecuencia establecidos, pudiendo diagnosticar fallas de causa mecánica a bajas frecuencias y en las fases iniciales de fallo en los rodamientos, en el caso de las máquinas que poseen rodamientos de bolas o rodillos en los apoyos. Microlog Analyzer serie GX - CMXA 75 de la serie GX es un colector/analizador FFT de datos portátil de alta productividad basado en rutas y de uno a tres canales. La entrada triaxial por tres canales con tacómetro independiente crea una recolección de datos más veloz e integral sin alargar el lapso de toma de muestras. Con un sólido procesador de datos de gran rapidez, el modelo SKF Microlog CMXA 75 toma datos dinámicos (vibración) y estáticos (procesos) de rutas o fuera de ruta, desde múltiples fuentes y con todas las actuaciones. El SKF Microlog serie GX viene con un pack completo de módulos de SKF Microlog instalado. Para agregar más desempeños, las unidades se pueden reemplazar por modelos más completos; debiéndose adquirir el ejemplar e ingresar el código de licencia otorgado.



Figura 5.- SKF Microlog Analyzer serie GX - CMXA 75

El autor (SKF, 2010) programa KF @ptitude Analyst software es un programa de software auxiliar para computadora orientado a los módulos de SKF Microlog con el que se puede transmitir, mostrar y evaluar velozmente las muestras tomadas y registradas en los módulos del software para los instrumentos de SKF Microlog de las series AX y GX. Con el programa de SKF, los registros se almacenan con la extensión .csv y se pueden exportar sencillamente a Microsoft Excel o a distintos programas externos. Sus tareas de post procesamiento facultan al usuario explotar todas las funciones de los módulos de SKF Microlog Analyzer.

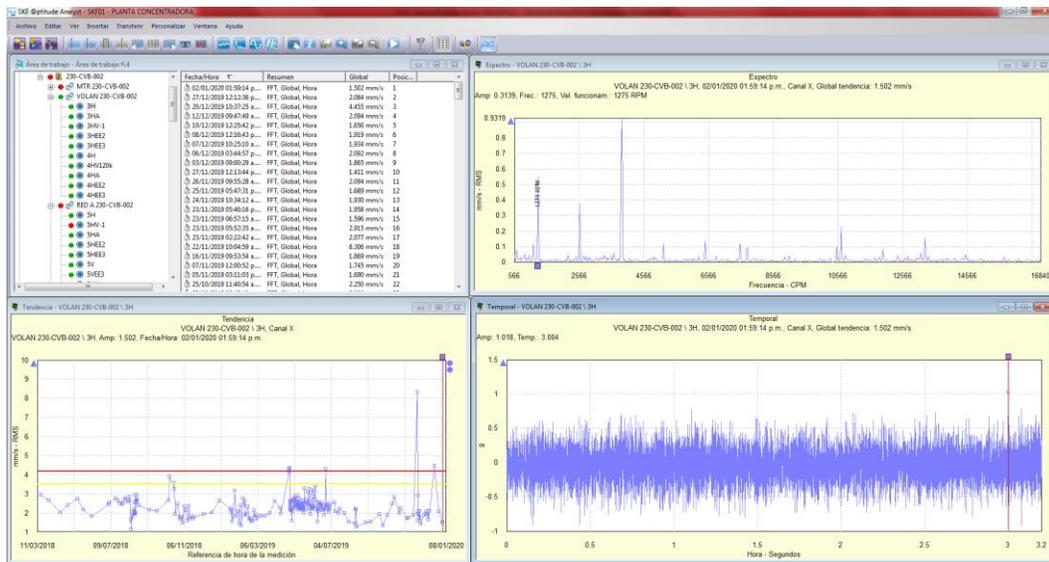


Figura 6.- SKF @ptitude Analyst software

Entre las fallas más comunes en máquinas rotativas detectadas por el análisis vibracional, tenemos el Desbalance, el cual indica el espectro muestra vibración predominante con una

frecuencia de 1 X RPS del rotor. Se requiere la verificación de un experto en balanceo de equipos.

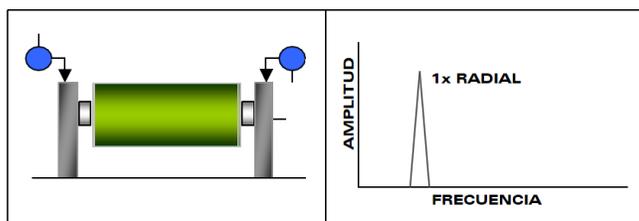


Figura 7.- Espectro del Desbalance

Otra falla es el Desalineamiento, sucede porque el eje conducido y en eje del motor, no están en paralelo en el acople. Se identifica por las grandes vibraciones axiales. 1X RPS y 2X RPS son muy presentadas, mostrando una desalineación de 180 grados en el acople, pudiéndose generar también 3X RPS. Estas características también pueden significar daños en el acople. Para darle solución, el paquete motor-rotor deben ser alineados.

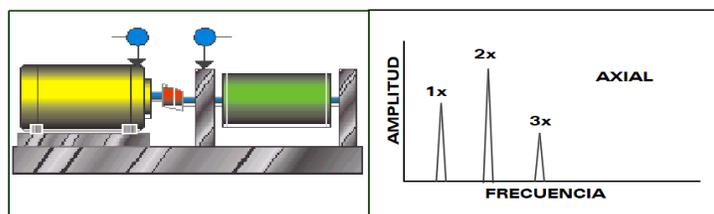


Figura 8.- Espectro del Desalineamiento

Una falla común es la Soltura Mecánica, esta soltura, la cual es mecánica se divide por la particularidad de su espectro de vibración, de tipo A, B o C. Tipo A: Producida por soltura en la estructura del pie de la máquina, la cimentación o la placa de la base, sedimentación en mal estado o deteriorada, pernos flojos, los cuales sujetan la base, y distorsión de la base (pata floja).



Figura 8.- Espectro de la Soltura Tipo A

La soltura Tipo B: Se produce cuando en la estructura del bastidor o pedestal del cojinete hay fisuras, soltura de los pernos de la bancada.



Figura 9.- Espectro de la Soltura Tipo B

La soltura Tipo C: Es producido por un mal ajuste entre las partes de los componentes, cuando un cojinete se encuentra flojo con respecto a su caja, por un alto espacio en los elementos rodantes o la camisa.



Figura 10.- Espectro de la Soltura Tipo C

Otra falla es la Fallas de rodamientos: Existen 4 Etapas de Fallas de Rodamientos

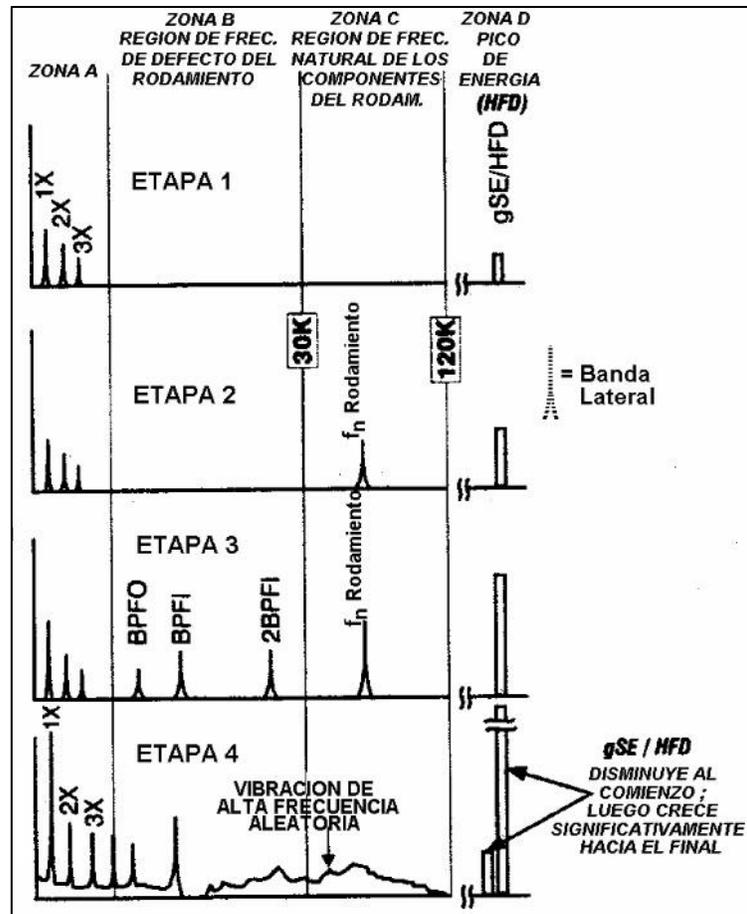


Figura 11.- Espectros de las 4 etapas de fallo de un Rodamiento

Según el autor (VILLANUEVA, 2006) , el Desgaste de dientes de Engranajes es por la excitación de la frecuencia natural del engranaje (f_n), junto con las bandas laterales alrededor espaciadas la velocidad de giro del engranaje dañado.



Figura 12.- Espectro del desgaste de dientes en un engrane

El Paso de Corriente en los elementos rodantes (rodamientos) del Motor: El paso de corriente afecta a la pista interna y a la en la pista externa del mismo.



Figura 13.- Espectro del paso de corriente en los rodamientos

El autor (Fernandéz, 2014) cita que El RCM consiste en un método para llevar a cabo una gestión de mantenimiento sustentada en evaluación de fallos en la instalación. Existen tres métodos tradicionales para ejecutar planes de mantenimiento, pero el RCM basa el programa de mantenimiento planificado en una profunda evaluación de fallas, generando las respuestas óptimas, pues está destinada a evitar las fallas que pudiera presentar la instalación. Este método es utilizado en gran cantidad de industrias. Ya que al usarse trae consigo los siguientes beneficios: Incrementa la disponibilidad de los equipos, disminuye los trabajos correctivos y las paradas de emergencia, reduce el mantenimiento preventivo que no es útil, disminuye el mantenimiento preventivo en partes no críticas, cambios de las tareas y las frecuencias, elimina o agrega nuevas tareas, se tiene mejor noción de los problemas, reconoce los fallos de fábrica, determina los causantes de la repetición de errores, reduce inventarios de partes de repuesto, disminuye el costo del programa de mantenimiento, es un trabajo más planificado y ordenado, se aprovecha el tiempo muerto del personal para capacitarlo, mejora la operación, incrementa la confiabilidad para el usuario. Este método permite la intervención de todo el personal que trabaja con el equipo, permitiendo identificar todas las posibles causas de desperfectos al aportar una lluvia de ideas basadas en la experiencia, el autor (Fernandéz, 2014) expone que el MTBF (Tiempo medio entre fallos) Se toma como el lapso de tiempo en el que la máquina realiza su función sin paradas causadas por un fallo en su funcionamiento; es decir, es el período durante el cual un equipo ejecuta sus funciones de trabajo después de su instalación, mantenimiento ideal y probables reparaciones. Mientras más grande es este tiempo, la confiabilidad del equipo aumenta.

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

Ecuación N° 1.- Tiempo medio entre fallas

El autor (Fernández, 2014) expone que el MTTR (Tiempo medio hasta la reparación) Es el tiempo promedio que tarda corregir una falla hasta llegar a condiciones de trabajo normales nuevamente, mientras mayor es el tiempo de solución, más grave es la avería que se ha producido en la máquina.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de fallas}}$$

Ecuación N° 2.- Tiempo medio hasta la reparación

El autor (SANTIAGO, 2010) cita que la Disponibilidad total, es aquel resultado eficaz de funcionalidad de los activos para lo cual se realiza un serie de pasos para llegar a ella, esto involucra a todos los colaboradores de una compañía.

$$\textit{Disponibilidad total} = \frac{\textit{horas totales} - \textit{Horas paradas por mantenimiento}}{\textit{horas totales}}$$

Ecuación N° 3.- Disponibilidad total

La Disponibilidad por averías, esta disponibilidad sucede fuera de una programación, a la ocasión de ejecutar el medir los activos.

$$\textit{Disponibilidad por averias} = \frac{\textit{horas totales} - \textit{Horas paradas por averias}}{\textit{horas totales}}$$

Ecuación N° 4.- Disponibilidad por averías

El autor (Fernández, 2014) cita que la Confiabilidad es la posibilidad de que una máquina no se llegue a dañar por un lapso definido de tiempo, cuando el equipo se encuentre operando o funcionando. Se dice que una maquina está 100% confiable cuando la maquina no falla, cabe resalta que esto no existe en la realidad.

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t}$$

Ecuación N° 5.- Confiabilidad

Dónde:

$R(t)$ = Confiabilidad

λ = variable de confiabilidad de un equipo propenso a fallas aleatorias.

e = const. neperiana ($e=2.718\dots$)

t = tiempo del estudio total (en horas)

El autor (GÓMEZ DE LEÓN, 1998) cita que la Mantenibilidad es posible describirla como expectativa que se tiene de que un equipo pueda ser vuelta a niveles óptimos de trabajo dentro de un lapso de tiempo.

$$M = 1 - e^{-\lambda t}$$

Ecuación N° 6.- Mantenibilidad

Dónde:

$M(t)$ = Mantenibilidad

e = const. neperiana ($e=2.718\dots$)

t = tiempo de estudio total (en horas)

μ = Tasa de reparaciones (cantidad resultate de reparaciones, ejecutadas con relación al total de horas de reparación del equipo).

La Eficiencia General de Equipos, se usa en la medición de la eficiencia de la producción de diversos procesos de trabajo ya sean máquinas o personas o ambas:

$$OEE = Disponibilidad \times Velocidad \times Calidad$$

Ecuación N° 7.- Eficiencia general de equipos

El autor (Fernández, 2014) cita que el AMEF es la técnica utilizada para identificar las fallas con potencial en las etapas de la obtención de los productos (procesos), sistemas y/o servicios. Y esto se clasifica teniendo en cuenta la gravedad del sistema.

Por lo mostrado hasta el momento se plantea la formulación del problema es por ello que se tiene como problema general ¿Cómo una propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento por análisis predictivo de vibraciones aumenta la disponibilidad de las máquinas desfibradoras de caña del área de Lavaderos de la empresa Azucarera?

Ante lo expuesto se realiza la justificación del estudio entre ellas la Justificación Económica:

Esta tesis se tiene como objetivo identificar posibles defectos y averías de equipos rotativos de una empresa con una propuesta de optimización de mantenimiento en base a un estudio de vibraciones que permitirá predecir el comportamiento de las máquinas y anticiparse a las fallas. Se propone usar técnicas y herramientas existentes que contribuyan a mejorar la disponibilidad de equipos con mayor índice de incidencias para la obtención de la confiabilidad, mejorando con esto las operaciones y los resultados finales de la empresa y como consecuencia la rentabilidad en tiempo de la compañía. En un programa de mantenimiento preventivo exitoso puede proporcionar una reducción del 30% en los costos de mantenimiento en comparación con un programa de mantenimiento de averías. Justificación Social, Este análisis se justifica socialmente porque fomenta la participación de los miembros del equipo y el mejor clima laboral al evitarse abruptas paradas de emergencia. También contribuye al cumplimiento de acuerdos o contratos con clientes en su entrega oportuna de pedidos. También aumenta la confianza y credibilidad de los usuarios de los equipos y colaboradores en general. Aumenta la seguridad y salud laboral. Justificación Tecnológica, este análisis se justifica tecnológicamente pues se usarán métodos de investigación el cual logren vincular eruditamente las variables de estudio: Gestión de mantenimiento enfocado en la predicción y disponibilidad de las máquinas rotativas. Se utilizará como guía a investigaciones futuras que vayan a realizarse, se busca añadir y mostrar métodos, herramientas y técnicas útiles para el área operacional, quienes tratan continuamente de identificar cómo hacer una mejora continua de cadenas de producción y así disminuir los tiempos inertes de emergencia en las distintas etapas del proceso. Justificación Ambiental, la investigación se justifica ambientalmente porque al ponerse en práctica el plan de mantenimiento predictivo basado en un estudio del análisis de vibraciones, se pretende prevenir las fallas y con ello erradicarlas. Es posible tener un plan de contingencia para actuar oportuna y con anticipación la intervención de la máquina el cual ha sido identificada con una falla, previniendo así que los equipos sean desechados por una falla o problema que no tenga solución,

de manera que se podrá reducir las toneladas de chatarra, los fluidos que estos usan, como el aceite y/o grasa que son un arma mortal para la tierra, la atmosfera, no contribuyendo al medio ambiente, disminución en la fabricación de repuestos.

Mediante una proposición aceptable que ha sido formulada a través de la recolección de información y datos es por ello que se propone la siguiente hipótesis General: La propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento por análisis predictivo de vibraciones aumenta la disponibilidad en las máquinas desfibradoras de caña de área de Lavaderos de la empresa Azucarera.

Por lo mostrado hasta el momento se presenta el siguiente objetivo general: Implementar una propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento por análisis predictivo de vibraciones aumentará la disponibilidad de las máquinas desfibradoras de caña del área de lavaderos de la empresa azucara.

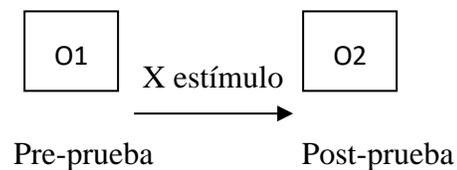
Como también para lograr el desarrollo se plantea los siguientes objetivos específicos (1) Determinar la situación actual de la disponibilidad de los equipos del área de Lavaderos de acuerdo a la criticidad de cada uno de ellos en una frecuencia Trimestral. (2) Ejecutar un análisis de efecto y falla (AMEF) de los equipos con índice altos de criticidad en planta y elaborar el plan de mantenimiento para los equipos críticos de área de Lavaderos. (3) Adquisición de datos de los equipos críticos de lavaderos mediante el equipo SKF Microlog Analyzer serie GX - CMXA 75 a fin de efectuar el análisis de vibraciones a través de la transformada de Fourier simulado en el software SKF @ptitude Analyst. (4) Determinar cómo influye el diagnóstico del análisis de vibraciones en los equipos de lavaderos, utilizando el programa estadístico IBM SPSS para determinar la probabilidad estadística. (5) Determinar la incidencia de la disponibilidad en los equipos tras la simulación.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de investigación

Pre Experimental. Hay un control, el cual es mínimo (o inspección menor) de la variable independiente, se ejecutará en un área (llamada: Lavaderos), se le adhiere un estímulo (Mantenimiento Predictivo Por Análisis Vibracional) para decretar su consecuencia hacia la variable dependiente (Disponibilidad de equipos), empleando una prueba antes y una prueba posterior luego de haber fijar el estímulo.

Diseño de la investigación



G: Maquinas en estado de criticidad de la línea lavaderos A y B

O1, O2: Observación de la disponibilidad de las máquinas en su estado inicial (medición pre prueba) y estado final (medición post prueba)

X: Estímulo: Análisis vibracional por implementación del mantenimiento predictivo.

2.2 Identificación de Variables

2.2.1 Variables Independientes, cuantitativas

Propuesta de mejora del Mantenimiento Predictivo por Análisis Vibracional para aumentar la disponibilidad de los equipos desfibradores de caña del área de lavaderos del ingenio Azucarero.

2.2.2 Variables Dependientes, cuantitativas

Acrecentar la disponibilidad de las maquinas del área de lavaderos, determinación del tiempo trabajado de los equipos en el tiempo de producción.

2.2.3 Operacionalización de Variables Independientes:

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	MEDICION	INDICADORES	ESCALA
Plan de mantenimiento predictivo por Análisis Vibracional	El análisis Vibracional, permite diagnosticar los problemas en las máquinas rotativas mediante la interpretación de espectros	Frecuencia	F (CPM o HZ)	$f = \frac{\text{Ciclos}}{\text{tiempo}}$	Razón
		Transformada de Furier	F(ω)	$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\alpha t} dt$	
	Mtto Centrado en Fiabilidad o MCC en una industria, aumenta la fiabilidad del establecimiento, acortando el tiempo de paradas no programadas en la planta causa por fallas inesperadas que obstaculizan cumplir con el plan de productividad.	Tiempo medio hasta haber reparado la avería	MTTR (Horas)	$\frac{\text{Tiempo de Parada o Reparación}}{\text{N}^\circ \text{ Fallas}}$	
		Tiempo promedio entre fallas en un periodo determinado	MTBF(Horas)	$\frac{\text{Horas de Operación}}{\text{N}^\circ \text{ Fallas}}$	
		Es un ratio veces/H	Tasa de reparación	$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$	
		Es un ratio fallas/H	Tasa de Fallas	$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$	
		Empleado para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industria.	Eficiencia General de los Equipos	$\text{OEE} = D t * R t * M(t)$	

Tabla 1.- Variables Independientes

2.2.4 Operacionalización de Variables Dependientes

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	MEDICION	INDICADORES	ESCALA
Disponibilidad de los Equipos	Probabilidad de que los equipos estén operativos para su uso durante un tiempo calendario dado. Si queremos calcularlo, se debe saber las horas totales de trabajo, menos las horas en que duró el equipo en mantenimiento, entre, las horas en las que estuvo trabajando.	Es el % del tiempo que operó un equipo en un tiempo determinado	Disponibilidad (%)	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$	Razón
		Es el % del tiempo de un equipo para realizar una función requerida en un tiempo dado.	Confiabilidad (%)	$R(t) = e^{-\frac{\lambda * t}{100}} * 100$	
		Es el % del tiempo en ser mantenido o restablecido un equipo en un tiempo dado	Mantenibilidad (%)	$M(t) = 1 - e^{-\frac{\lambda * t}{100}} * 100$	

Tabla 2.- Variables Dependientes

2.3 Población y muestra, selección de la unidad de análisis.

2.3.1 Población

De acuerdo a los datos registrados en el área de lavaderos, el resultado del cálculo muestral de veinte equipos procede a una estimación cercana al Universo, por lo cual se realizará a los equipos de lavaderos en su totalidad.

2.3.2 Muestra

El resultado de la población es menor de cincuenta de quipos por lo cual la población es igual a la muestra, no fue necesario realizar un muestreo ya que la muestra se considera igual que el universo.

2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Instrumentos de recolección de datos

1. Usaremos como instrumento un formato de tiempos perdidos el cual aportará a identificar la disponibilidad inicial en la que se encuentran los activos (Ver anexo tabla N° 44).
2. Usaremos como instrumento los lineamientos del análisis Pareto para poder identificar los equipos con mayor número de incidencias, el cual determinará el ochenta por ciento que debemos tomar acciones invirtiendo el tiempo necesario para erradicarlos (ver anexo figura N° 26).
3. Para lograr construir una modulación operacional de los quipos críticos y la simulación de tiempos perdidos que estos ocasionan utilizaremos como instrumento el software informático Promodel el cual posee distintas herramientas capaces de interrelacionar los tiempos operacionales teniendo influencia en la disponibilidad de las máquinas, y con ello la construcción del plan de mantenimiento predictivo se ejecutará una proyección

de las actividades a realizar, para poder lograr el cumplimiento de lo mencionado se empleará la técnica de la Programación - Simulación y como instrumento el Software informático simulador (ver anexo figura N° 27).

4. Para visualizar el impacto en la variable de la disponibilidad de equipos de las máquinas de lavaderos posterior a una implementación del plan de mantenimiento predictivo a través de vibraciones se utilizará como instrumento un gráfico dinámico el cual se ve reflejado ambos valores antes y después (Ver figura N° 25).
5. Valido los instrumentos que he utilizado, a través del juicio de expertos, los cuales fueron 3 (tres) especialistas y conocedores del tema, que están en constante práctica e implementación de sus conocimientos. (Revisar Anexos 35, 36, 37).

2.5 Procedimientos:

1. Para determinar la situación actual de la disponibilidad de los equipos del área de Lavaderos de acuerdo a la criticidad de cada uno de ellos en una frecuencia Trimestral se recurre a los registros de paradas de la empresa azucarera:
2. Para ejecutar un análisis de efecto y falla (AMEF) de los equipos con índice altos de criticidad en planta y elaborar el plan de mantenimiento para los equipos críticos de área de Lavaderos, se recolecta los datos operativos, tiempos de paradas, problemas ocasionados, tipos de falla basada de una matriz de consecuencia.
3. Para lograr la adquisición de datos de los equipos críticos de lavaderos mediante el equipo SKF Microlog Analyzer serie GX - CMXA 75 se descarga los datos a través de un software para analizar la información.
4. Para lograr determinar cómo influye el diagnóstico del análisis de vibraciones en los equipos de lavaderos, se utiliza el programa estadístico IBM SPSS para determinar la probabilidad estadística.
5. Para lograr determinar la incidencia de la disponibilidad en los equipos tras la simulación, se ejecuta cuadros comparativos en las distintas frecuencias.

2.6. Métodos y análisis de datos

2.6.1 Análisis descriptivo

Se analizará datos de raíz en esta investigación descriptiva utilizando métodos cualitativos y cuantitativos, se ejecutarán cálculos en los indicadores de mantenimiento, representaciones gráficas, simulaciones de tiempos, probabilidades estadísticas, métodos de análisis de efecto y falla.

2.6.2 Análisis Inferencial

Para demostrar la hipótesis estadística se realiza pruebas de escala razón a la comparación de muestras a equipos realizando un examen estadístico de Shapiro – Wilk para verificar la naturalidad de las referencias por incumbir a datos cuantitativos, donde se identificará si la información (datos) tienen un comportamiento normal, de ser así se aplicará la prueba t-student y en caso no se aplica la prueba estadística de Wilcoxon con un 95% de nivel de confianza, para probar la hipótesis. Comportamiento normal, de ser así se aplicará la prueba t-student y en caso no se aplica la prueba estadística de Wilcoxon con un 95% de nivel de confianza, para probar la hipótesis.

2.7 Aspectos éticos

Subsiguiente a las investigaciones adopta de manera ética, moral y responsable respetar la información de los distintos autores resultados de las empresas involucradas como también mantener un perfil de discreción y confidencialidad de los datos brindados por la empresa y los contribuyentes a esta investigación.

III. RESULTADOS

3.1. Determinar la Disponibilidad de los equipos en la actualidad

3.1.1 Descripción de la empresa Azucarera

La empresa Azucarera con sede en el Perú, se ocupa primordialmente en el sector agrícola. Sus actividades incluyen el cultivo, procesamiento, industrialización y venta de caña de azúcar y sus derivados.

3.1.2 Equipos de las líneas A y B del Área de Lavaderos

El área de lavaderos está dividida en dos líneas “A” y “B” el cual está conformado por 10 equipos en cada línea de alimentación del área, estos equipos son la primera parte en el proceso de preparación y molienda el cual tiene el trabajo más duro en la etapa de la elaboración del azúcar.

La materia prima que ingresa por estos equipos es la caña de azúcar en distintas presentaciones caña picada, caña entera quemada, caña entera. Cabe resaltar que esta materia prima en ocasiones se encuentra acompañado de agentes externos.

Estos equipos de lavaderos, soportan altas cargas lo cuales poseen un gran tamaño, por el cual se pretende realizar un análisis vibracional más exhaustivo para identificar las fallas prematuras, por lo consiguiente se obtiene el siguiente resultado.

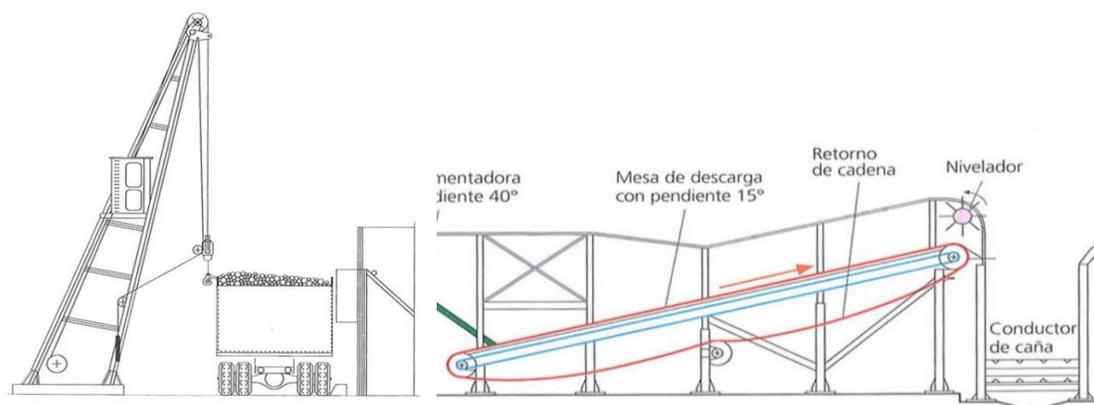


Figura 14.- Equipos del Área de Lavaderos

Tabla 3.- Equipos del Área de Lavaderos - Fuente Área de Lavaderos

ID	UBICACIÓN	ZONA	EQUIPOS DE LAVADERO	INSPECTOR
1	LAVADEROS	ZONA A	GRUA HILO A / 45TON	J-LEYVA
2	LAVADEROS		CONDUCTOR 1ª	J-LEYVA
3	LAVADEROS		CONDUCTOR 2ª	J-LEYVA
4	LAVADEROS		CONDUCTOR 3ª	J-LEYVA
5	LAVADEROS		MACHETERO A	J-LEYVA
6	LAVADEROS		CONDUCTOR 4ª	J-LEYVA
7	LAVADEROS		BUSTER A	J-LEYVA
8	LAVADEROS		FIBERIZER A	J-LEYVA
9	LAVADEROS		CONDUCTOR 5ª	J-LEYVA
10	LAVADEROS		CONDUCTOR 6ª	J-LEYVA

ID	UBICACIÓN	ZONA	EQUIPOS DE LAVADERO	INSPECTOR
11	LAVADEROS	ZONA B	GRUA HILO B	J-LEYVA
12	LAVADEROS		CONDUCTOR 1B	J-LEYVA
13	LAVADEROS		CONDUCTOR 2B	J-LEYVA
14	LAVADEROS		CONDUCTOR 3B	J-LEYVA
15	LAVADEROS		MACHETERO B	J-LEYVA
16	LAVADEROS		CONDUCTOR 4B	J-LEYVA
17	LAVADEROS		BUSTER B	J-LEYVA
18	LAVADEROS		FIBERIZER B	J-LEYVA
19	LAVADEROS		CONDUCTOR 5B	J-LEYVA
20	LAVADEROS		CONDUCTOR 6B	J-LEYVA

Fuente empresa azucarera

3.1.3 Detención de fallas de los equipos del área de lavaderos

Las fallas presentadas en estos equipos son de manera irregular las cuales se identifican defectos en el proceso azucarero ocasionando paradas no programadas por lo que se realiza un análisis para identificar los defectos que cuentan con una tasa de mayores incidencias a causa de no contar con un programa eficaz para la detención de falla tempranas a través del exhaustivo análisis vibracional.

Se analizará las interrupciones en el proceso con una frecuencia trimestral Junio – Agosto del 2019, los datos presentados se encuentran registrado en las tendencias de molienda de la empresa azucarera el cual se muestra en la tabla N° 4.

Tabla 4.- Falla Ocurrida en el Área de Lavaderos - Parte 1 - Fuente Área de Lavaderos

TIEMPOS DE PARADAS EN EL PROCESO AZUCARERO								
FALLA OCURRIDA	FALLAS EXPRESADA EN HORAS					MANTENIMIENTO EXPRESADO EN HORAS	MAQUINA	AREA
	OPERACIÓN	MECANICAS	ELECTRICAS	INSTRUMENTACION	OTROS	TOTAL PARADAS N.P		
ROTURA DE ENGRANES		149.25				711.88	MACHETERO	LAVADERO "A"
		129.5					CONDUCTOR N°1	LAVADERO "B"
		100.25					MACHETERO	LAVADERO "B"
		127.35					BUSTER	LAVADERO "A"
		100.24					BUSTER	LAVADERO "B"
		105.29					FIBERIZER	LAVADERO "A"
FISURA DE CHUMACERA		136.25				1090.87	CONDUCTOR N°1	LAVADERO "B"
		139.1					MACHETERO	LAVADERO "A"
		109.3					MACHETERO	LAVADERO "B"
		119.45					BUSTER	LAVADERO "A"
		128.15					CONDUCTOR DE CAÑA N° 2	LAVADERO "A"
		109.42					FIBERIZER	LAVADERO "B"
		143.32					CONDUCTOR DE CAÑA N° 3	LAVADERO "A"
		125.3					FIBERIZER	LAVADERO "A"
		80.58					CONDUCTOR DE CAÑA N° 1	LAVADERO "A"

Tabla 5.-Falla Ocurrida en el Área de Lavaderos - Parte 2 - Fuente Área de Lavaderos

TIEMPOS DE PARADAS EN EL PROCESO AZUCARERO								
FALLA OCURRIDA	FALLAS EXPRESADA EN HORAS				MANTENIMIENTO EXPRESADO EN HORAS	MAQUINA	AREA	
	OPERACION	MECANICAS	ELECTRICAS	INSTRUMENTACION	OTROS			TOTAL PARADAS N.P
FALLA PREMATURA DE RODAMIENTOS		98.28				507.17	BUSTER	LAVADERO "B"
		130.2					MACHETERO	LAVADERO "A"
		124.02					CONDUCTOR N°1	LAVADERO "B"
		92.38					FIBERIZER	LAVADERO "B"
		62.29					FIBERIZER	LAVADERO "A"
DESCARRILAMIENTO DE CADENAS		116.25				945.28	CONDUCTOR DE CAÑA N° 5	LAVADERO "B"
		109.36					CONDUCTOR DE CAÑA N° 6	LAVADERO "B"
		97.22					CONDUCTOR DE CAÑA N° 1	LAVADERO "A"
		95.28					CONDUCTOR DE CAÑA N° 4	LAVADERO "B"
		110.22					CONDUCTOR DE CAÑA N° 6	LAVADERO "A"
		33.45					BUSTER	LAVADERO "A"
		92.54					BUSTER	LAVADERO "B"
		92.1					FIBERIZER	LAVADERO "A"
		99.49					CONDUCTOR DE CAÑA N°2	LAVADERO "A"
		129.37					CONDUCTOR DE CAÑA N°3	LAVADERO "A"

Tabla 6.- Falla Ocurrida en el Área de Lavaderos - Parte 3 - Fuente Área de Lavaderos

TIEMPOS DE PARADAS EN EL PROCESO AZUCARERO								
FALLA OCURRIDA	FALLAS EXPRESADA EN HORAS					MANTENIMIENTO EXPRESADO EN HORAS	MAQUINA	AREA
	OPERACION	MECANICAS	ELECTRICAS	INSTRUMENTACION	OTROS	TOTAL PARADAS N.P		
ROTURA DE PERNOS		99.3				483.68	MACHETERO	LAVADERO "A"
		126.25					CONDUCTOR N°1	LAVADERO "B"
		97.2					FIBERIZER	LAVADERO "B"
		94.43					CONDUCTOR DE CAÑA N° 4	LAVADERO "B"
		44.34					BUSTER	LAVADERO "B"
		22.16					CONDUCTOR DE CAÑA N° 1	LAVADERO "A"
PASO DE CORRIENTE EN LOS RODAMIENTOS			20.15			212.29	CONDUCTOR N°1	LAVADERO "B"
			18.32				MACHETERO	LAVADERO "A"
			99.25				MACHETERO	LAVADERO "B"
			5.12				BUSTER	LAVADERO "A"
			13.45				BUSTER	LAVADERO "B"
			16.24				FIBERIZER	LAVADERO "B"
			15.22				CONDUCTOR DE CAÑA N° 2	LAVADERO "A"
			14.29				CONDUCTOR DE CAÑA N°3	LAVADERO "A"
			10.25				FIBERIZER	LAVADERO "A"

Tabla 7.- Falla Ocurrida en el Área de Lavaderos - Parte 4 - Fuente Área de Lavaderos

TIEMPOS DE PARADAS EN EL PROCESO AZUCARERO								
FALLA OCURRIDA	FALLAS EXPRESADA EN HORAS				MANTENIMIENTO EXPRESADO EN HORAS	MAQUINA	AREA	
	OPERACIÓN	MECANICAS	ELECTRICAS	INSTRUMENTACION	OTROS			TOTAL PARADAS N.P
DESALINEAMIENTO DE EJES		45.35				608.62	MACHETERO	LAVADERO "A"
		80.32					CONDUCTOR N° 1	LAVADERO "B"
		138.12					MACHETERO	LAVADERO "B"
		131.24					BUSTER	LAVADERO "A"
		120.34					BUSTER	LAVADERO "B"
		93.25					CONDUCTOR DE CAÑA N°6	LAVADERO "B"
ROTURA DE CHUCHILLAS		44.15				762.71	MACHETERO	LAVADERO "A"
		97.2					CONDUCTOR DE CAÑA N°5	LAVADERO "B"
		134.98					MACHETERO	LAVADERO "B"
		137.22					BUSTER	LAVADERO "A"
		33.45					BUSTER	LAVADERO "B"
		84.54					FIBERIZER	LAVADERO "A"
		106.42					CONDUCTOR DE CAÑA N° 2	LAVADERO "A"
		28.32					CONDUCTOR DE CAÑA N°3	LAVADERO "A"
		96.43					FIBERIZER	LAVADERO "B"

Las fallas ocurridas durante el proceso azucarero se detallan en las tablas N° 4, 5, 6 y 7, en donde se pueden ver el tiempo de parada no programada durante la frecuencia trimestral de Julio a Setiembre, lo cual serán de gran aporte para evaluar los equipos con mayor tasa de criticidad en el área de lavaderos.

En estas tablas se presentan las fallas mecánicas y operacionales ocurridas durante el proceso azucarero, para lograr la obtención de la azúcar rubia, blanca y los derivados de la caña de azúcar.

Los datos que se encuentran en la tabla N° 4, 5, 6 y 7, pertenecen a la fecha: 01/Junio/2019 al 01/Agosto/2019, tres meses lo cual es equivalente a un tiempo programado neto (NTP) de 2208 horas. No obstante, las maquinas mencionados laboran las veinticuatro horas.

El ingenio Azucarero, tiene como estructura un plan de mantenimiento programado establecido en 14 horas semanales las cuales son equivalentes a 56 horas mensuales proyectado en 3 meses las horas de mantenimiento programado equivale a 168 horas.

Para lograr los objetivos específicos es necesario aplicar las fórmulas propuestas en teorías que se relacionan con los temas.

Con los datos en la tabla N°10, procedemos a calcular MTTR, MTBF, la Disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad.

Cabe resaltar que los cálculos se detallan en los anexos donde se puede observar paso a paso la resolución de cada uno de ellos los cuales están involucrados con los equipos críticos del área de Lavaderos.

Tomaremos como ejemplo el Machetero A

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{625.67}{8} = 78.21 \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

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

$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 625.67)}{8} = 176.79 \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{176.79}{176.79 + 78.21} = 69.33 \%$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{176.79} = 0.00566 \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{-\frac{0.00566 * 2208}{100}} = 88.26\%$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{78.21} = 0.0128 \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{-\frac{\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{-\frac{0.0128 * 2208}{100}} * 100 = 24.59\%$$

3.1.4 Disponibilidad existente de los reportes de los tiempos perdidos

En los reportes como se muestra en la tabla N° 4, 5, 6 y 7, detallamos los tiempos de paradas por eventos no deseados por lo que vamos a analizar de manera trimestral, su disponibilidad, en cada uno de los equipos involucrados, No obstante, logramos resultados que tenemos a continuación, los que mostraremos en la tabla N° 8.

Tabla 8.- Análisis de la Disponibilidad - Fuente Tablas N°4, 5, 6 y 7

No	EQUIPO PROCEDENTE A LA PARADA	Horas de trabajo	Tiempo de paradas (Hrs)	N° de fallas	Mantenimiento preventivo programado	DISPONIBILIDAD	MTTR (Hrs / Falla)	MP + TTR (Mant. Prog + Tiempo de paradas)	MTBF (Hrs Fallas)	TASA DE FALLAS	TASA DE REPARACION	CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD	OEE
1	MACHETERO A	2208	625.67	8	168	69.33%	78.21	793.67	176.79	0.00566	0.0128	88.26%	24.59%	15.05%
2	CONDUCTOR 1 B	2208	616.49	8	168	69.78%	77.06	784.49	177.94	0.00562	0.0130	88.33%	24.91%	15.35%
3	MACHETERO B	2208	581.9	10	168	71.48%	58.19	749.90	145.81	0.00686	0.0172	85.95%	31.57%	19.40%
4	BUSTER A	2208	553.83	12	168	72.85%	46.15	721.83	123.85	0.00807	0.0217	83.67%	38.02%	23.18%
5	FIBERIZER A	2208	479.77	10	168	76.48%	47.98	647.77	156.02	0.00641	0.0208	86.81%	36.88%	24.49%
6	BUSTER B	2208	458.3	12	168	77.53%	38.19	626.30	131.81	0.00759	0.0262	84.58%	43.90%	28.79%
7	FIBERIZER B	2208	411.67	10	168	79.82%	41.17	579.67	162.83	0.00614	0.0243	87.32%	41.51%	28.93%
8	CONDUCTOR DE CAÑA N°2 A	2208	349.28	11	168	82.88%	31.75	517.28	153.70	0.00651	0.0315	86.62%	50.11%	35.97%
9	CONDUCTOR DE CAÑA N°3 A	2208	301.01	10	168	85.24%	30.10	469.01	173.90	0.00575	0.0332	88.08%	51.98%	39.02%
10	CONDUCTOR DE CAÑA N°5 B	2208	213.45	10	168	89.54%	21.35	381.45	182.66	0.00547	0.0468	88.61%	64.45%	51.14%
11	CONDUCTOR DE CAÑA N°6 B	2208	202.61	12	168	90.07%	16.88	370.61	153.12	0.00653	0.0592	86.57%	72.95%	56.88%
12	CONDUCTOR DE CAÑA N°1 A	2208	199.96	10	168	90.20%	20.00	367.96	184.00	0.00543	0.0500	88.69%	66.85%	53.48%
13	CONDUCTOR DE CAÑA N°4 B	2208	189.71	10	168	90.70%	18.97	357.71	185.03	0.00540	0.0527	88.75%	68.77%	55.36%
14	CONDUCTOR DE CAÑA N°6 A	2208	110.22	10	168	94.60%	11.02	278.22	192.98	0.00518	0.0907	89.19%	86.51%	72.99%
TOTAL				143	2352	81%						87.25%	50%	37%

Fuente Elaboración Propia



Gráfica 1.- Disponibilidad de los equipos de Lavaderos - Fuente: Tabla 8

En la Gráfica N°1, se muestra los datos de los equipos y su disponibilidad en el área de lavaderos en el trimestre de Junio a Agosto del 2019, datos obtenidos en los reportes de incidencias de la empresa Azucarera.

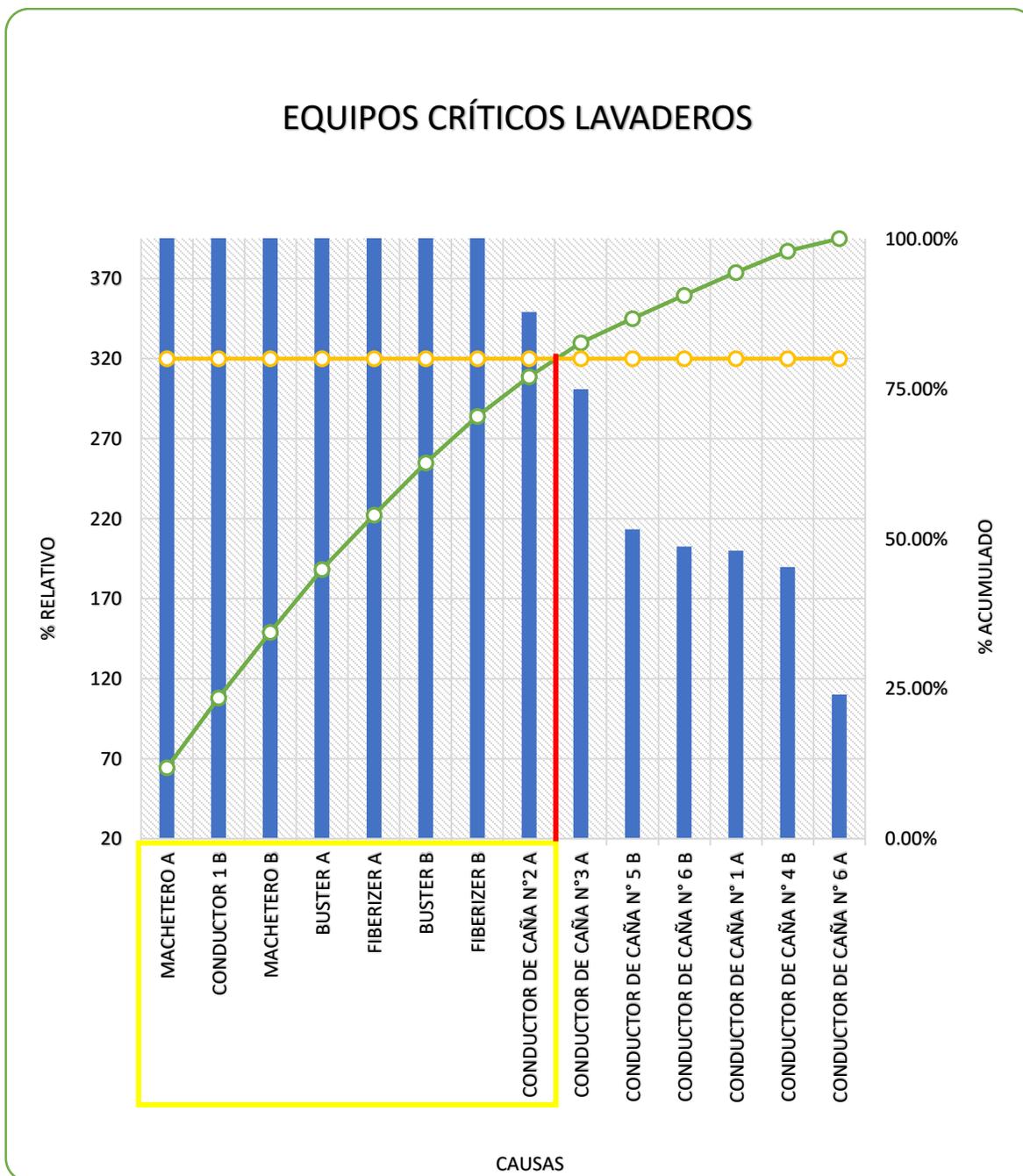
3.1.5 Elaboración Diagrama de Pareto

Se Analiza los defectos en el proceso por lo cual se aplica el principio de Pareto para conocer los desperfectos que se suscitan con elevada frecuencia en los equipos en esta área de lavaderos.

No.	EQUIPOS DE LAVADEROS	Frecuencias	% Relativo	% Acumulado
1	MACHETERO A	625.67	11.82%	11.82%
2	CONDUCTOR 1 B	616.49	11.65%	23.46%
3	MACHETERO B	581.9	10.99%	34.46%
4	BUSTER A	553.83	10.46%	44.92%
5	FIBERIZER A	479.77	9.06%	53.98%
6	BUSTER B	458.3	8.66%	62.64%
7	FIBERIZER B	411.67	7.78%	70.41%
8	CONDUCTOR DE CAÑA N°2 A	349.28	6.60%	77.01%
9	CONDUCTOR DE CAÑA N°3 A	301.01	5.69%	82.70%
10	CONDUCTOR DE CAÑA N° 5 B	213.45	4.03%	86.73%
11	CONDUCTOR DE CAÑA N° 6 B	202.61	3.83%	90.56%
12	CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 A	199.96	3.78%	94.33%
13	CONDUCTOR DE CAÑA N° 4 B	189.71	3.58%	97.92%
14	CONDUCTOR DE CAÑA N° 6 A	110.22	2.08%	100.00%
TOTAL		5293.87	100.00%	

Tabla 9.- Equipos Críticos del Área de Lavaderos - Fuente: Pareto

El propósito del análisis de Pareto es llegar a diferenciar los que se encuentran en estado menos vitales (20%), de manera que la labor correctiva que se haga, se ejecute dónde nos produzca un mejor beneficio (el 80%). Entonces al colocar los equipos por orden de importancia, ejecutamos el análisis de Pareto, "La Regla del 80/20".



Gráfica 2.- Resultado de equipos Críticos por Pareto - Fuente: Tabla 9

De la gráfica 2 se obtiene con un porcentaje del 80% de los equipos con mayor incidencia de falla, los cuales son: **Machetero A, Conductor 1B, Machetero B, Buster A, Fiberizer A, Buster B, Fiberizer B, Conductor de Caña N° 2 A.**

3.1.6 Disponibilidad De Equipos Críticos Analizados Por Pareto:

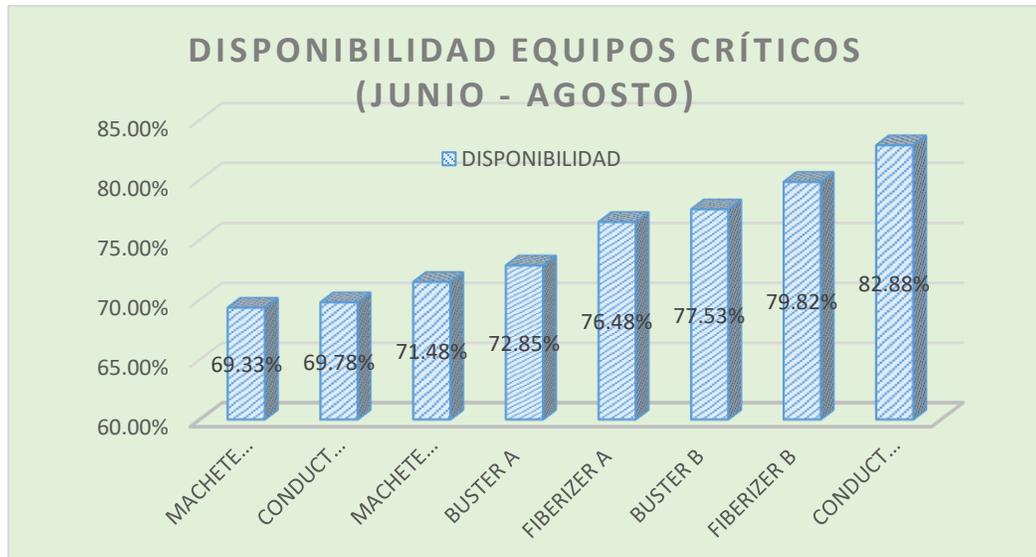
Luego de elaborar la gráfica y analizar los resultados del principio de Pareto, se procede a evaluar la funcionalidad actual de los ocho (8) maquinas con mayor incidencia de fallas, ver Gráfica 2.

Tabla 10. Disponibilidad equipos críticos

No.	EQUIPO PROCEDENTE A LA PARADA	Horas de trabajo	Tiempo de paradas (Hrs)	N° de fallas	Mantenimiento preventivo programado	DISPONIBILIDAD	MTTR (Hrs / Falla)	MP + TTR (Mant. Prog + Tiempo de paradas)	MTBF (Hrs Fallas)	TASA DE FALLAS	TASA DE REPARACION	CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD	OEE
1	MACHETERO A	2208	625.67	8	168	69.33%	78.21	793.67	176.79	0.00566	0.0128	88.26%	24.59%	15.05%
2	CONDUCTOR 1 B	2208	616.49	8	168	69.78%	77.06	784.49	177.94	0.00562	0.0130	88.33%	24.91%	15.35%
3	MACHETERO B	2208	581.9	10	168	71.48%	58.19	749.90	145.81	0.00686	0.0172	85.95%	31.57%	19.40%
4	BUSTER A	2208	553.83	12	168	72.85%	46.15	721.83	123.85	0.00807	0.0217	83.67%	38.02%	23.18%
5	FIBERIZER A	2208	479.77	10	168	76.48%	47.98	647.77	156.02	0.00641	0.0208	86.81%	36.88%	24.49%
6	BUSTER B	2208	458.3	12	168	77.53%	38.19	626.30	131.81	0.00759	0.0262	84.58%	43.90%	28.79%
7	FIBERIZER B	2208	411.67	10	168	79.82%	41.17	579.67	162.83	0.00614	0.0243	87.32%	41.51%	28.93%
8	CONDUCTOR DE CAÑA N°2 A	2208	349.28	11	168	82.88%	31.75	517.28	153.70	0.00651	0.0315	86.62%	50.11%	35.97%
TOTAL				81	1344	75.02%	418.7		1228.75			86.44%	36%	24%

Fuente. Tabla N°8

Ejecutando las operaciones matemáticas, visualizamos una disponibilidad trimestral de los setenta y cinco por ciento (75%), con mayor criticidad según el principio de Pareto en el área de Lavaderos (Ver Gráfica 2).



Gráfica 3.- Disponibilidad máquinas Críticas de Lavaderos - Fuente: Pareto

Los resultados obtenidos corresponden a los datos de funcionalidad trimestral de los equipos con mayor criticidad según el principio de Pareto (Ver Gráfica 3), en los meses de Junio – Agosto del 2019.

3.1.7 Información técnica de los equipos críticos del área de lavaderos para la ejecución del Mantenimiento Predictivo

Una vez realizado el estudio necesario para la obtención de los equipos críticos del área de lavaderos, se procederá a recaudar información de los mismos (Ver tabla N°4,5,6,7), para realizar el correcto mantenimiento predictivo mediante el análisis vibracional.

Los equipos críticos obtenidos por Pareto son 8:

1. Machetero A
2. Conductor 1B
3. Machetero B
4. Buster A
5. Fiberizer A
6. Buster B
7. Fiberizer B
8. Conductor de Caña N° 2

3.2.1 Creación de Layout para el monitoreo de condición de los equipos

El tener un layout del área con las ubicaciones de los equipos, nos ayuda a crear una ruta que permita al personal a identificar donde están los equipos y saber cuál es la ruta más adecuada para el personal que tomará las medidas de vibraciones de los equipos.

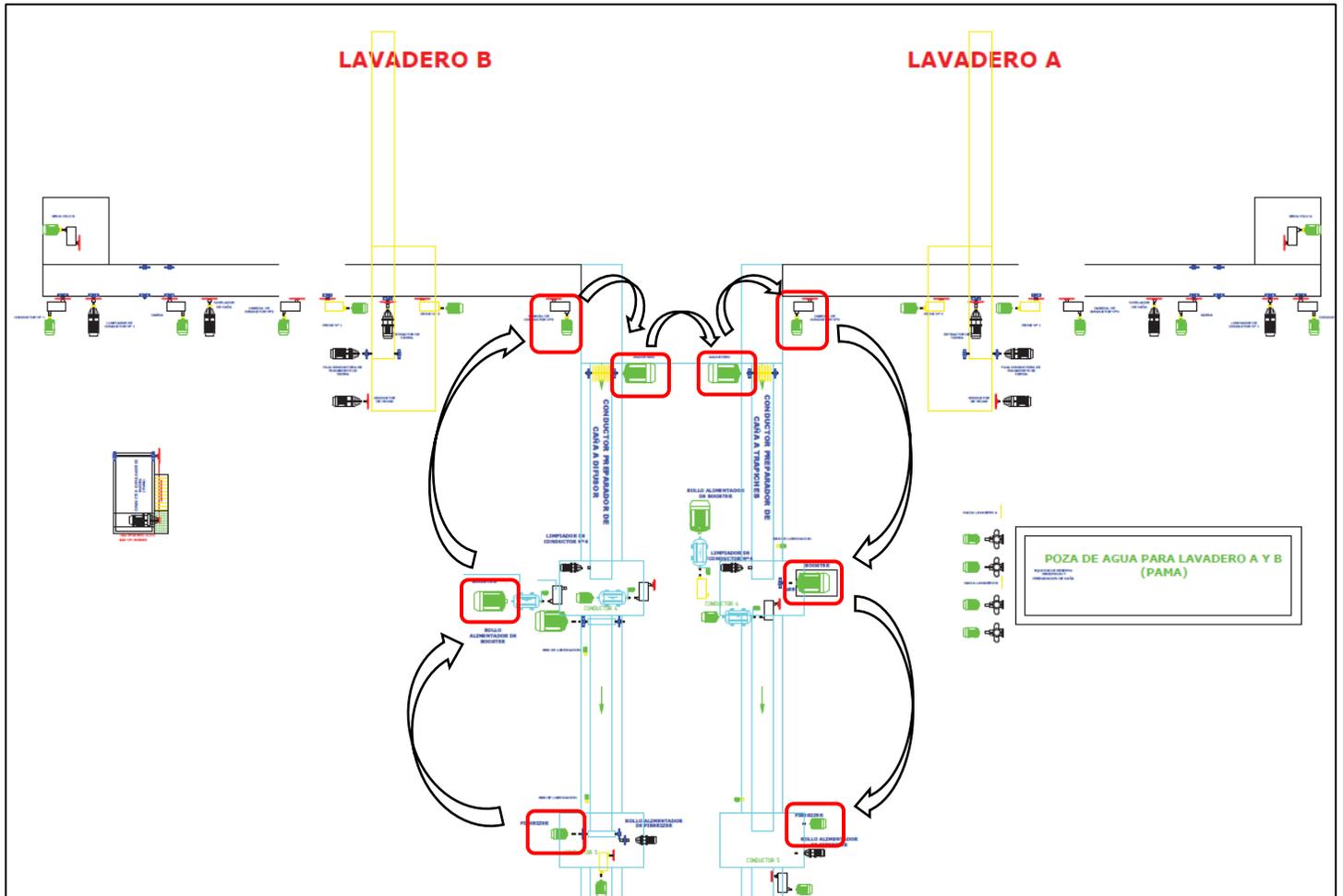


Figura 15.- Layout del área de Lavaderos - Fuente: Elaboración Propia

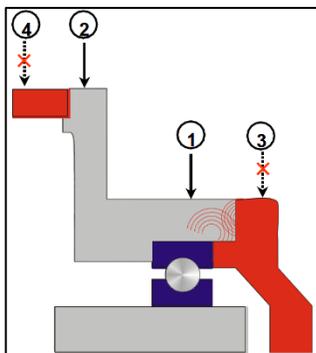
3.2.2. Creación de rutas para el monitoreo de condición de los equipos

ITEM	Asset	FR	INSPECTOR	CRITICIDAD	CONTROL						
					19	26	03	10	17	24	31
16	FIBERIZER B	7	J-LEYVA	A	LU	LU	LU	LU	LU	LU	LU
19	BUSTER B	7	J-LEYVA	A							
22	MACHETERO B	7	J-LEYVA	A							
42	CONDUCTOR DE CAÑA 1B	7	J-LEYVA	A							
45	MACHETERO A	7	J-LEYVA	A							
47	CONDUCTOR DE CAÑA 1A	7	J-LEYVA	A							
130	BUSTER B	7	J-LEYVA	A							
131	FIBERIZER B	7	J-LEYVA	A							

Tabla 12.- Creación de rutas de vibraciones - Fuente: Información Layout

La medición de vibraciones de los 8 equipos de la ruta, será de manera Semanal, se realizará con el Sistema Microlog y estará a cargo de personal especializado.

Nota: El establecimiento de los puntos de medición se realizará en función a la condición mecánica de los equipos al nivel de componentes, para obtener la mayor información del estado del equipo. La selección adecuada de los puntos de medición, así como su identificación es importantes para la creación de rutas.



Recolección de Datos de vibraciones de las máquinas que presentan estado de criticidad en el Área de Lavaderos

Figura 16.- Selección de puntos de Toma de vibraciones

Tabla 13. Plan de recolección de datos de vibraciones del machetero A

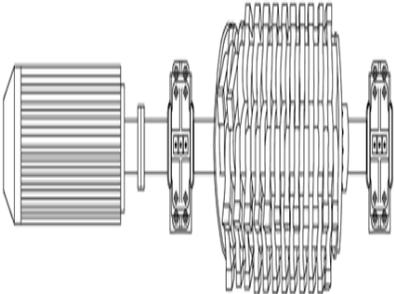
EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	MACHETERO B			
N° de inventario	AZUCLAV-01B			
Modelo	COP 6 48" (SS-6/48)			
Marca	Simisa			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm			
	Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s			
	Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ²			
	Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0	7.33	2.33
		0	-4.67	0
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0	4.73	0
		0	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0	233.43	62.27
		0	-148.54	0

Tabla 13. Plan de recolección de datos de vibraciones del machetero A

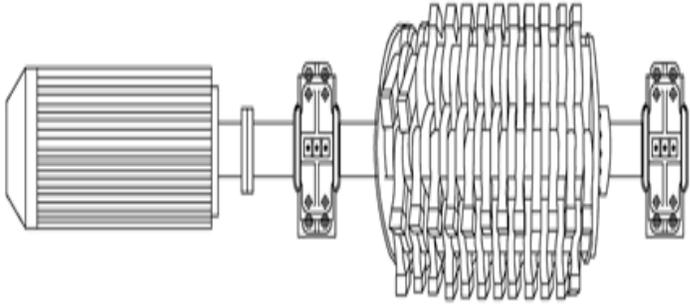
EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	MACHETERO A			
N° de inventario	AZUCLAV-01 ^a			
Modelo	COP 6 48" (SS-6/48)			
Marca	Simisa			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ² Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0.00	7.33	2.33
		0.00	-4.67	0.00
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0.00	4.73	0.00
		0.00	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0.00	233.43	62.27
		0.00	-148.54	0.00

Tabla 14. Plan de recolección de datos de vibraciones del Conductor 1B

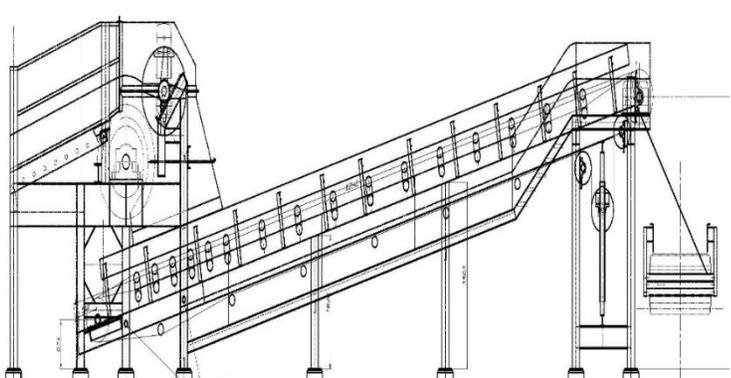
EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	CONDUCTOR 1B			
N° de inventario	AZUCLAV-05			
Modelo	Transportador de tablillas			
Marca	SL			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ² Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0.00	7.33	2.33
		0.00	-4.67	0.00
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0.00	4.73	0.00
		0.00	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0.00	233.43	62.27
		0.00	-148.54	0.00

Tabla 15. Plan de recolección de datos de vibraciones del Buster A

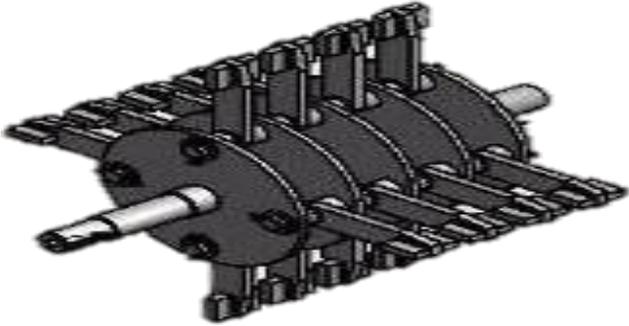
EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	BUSTER A			
N° de inventario	AZUCLAV-02ª			
Modelo	ASAGA 6 45"			
Marca	Simisa			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ² Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0.00	7.33	2.33
		0.00	-4.67	0.00
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0.00	4.73	0.00
		0.00	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0.00	233.43	62.27
		0.00	-148.54	0.00

Tabla 16. Plan de recolección de datos de vibraciones de Fiberizer A

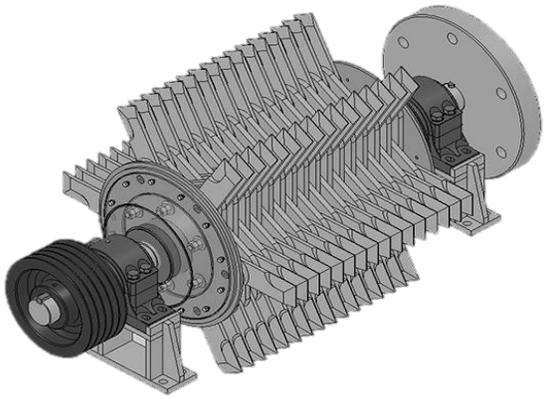
EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	FIBERIZER A			
N° de inventario	AZUCLAV-06 ^a			
Modelo	ASAGA 6 45"			
Marca	Gallego			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ² Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0.00	7.33	2.33
		0.00	-4.67	0.00
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0.00	4.73	0.00
		0.00	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0.00	233.43	62.27
		0.00	-148.54	0.00

Tabla 17. Plan de recolección de datos de vibraciones del Buster B

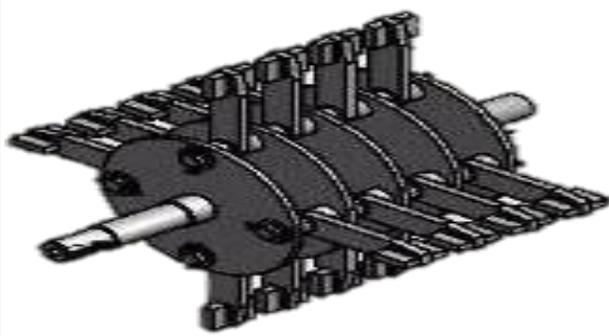
EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	BUSTER B			
N° de inventario	AZUCLAV-02B			
Modelo	ASAGA 6 45''			
Marca	Simisa			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ² Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0.00	7.33	2.33
		0.00	-4.67	0.00
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0.00	4.73	0.00
		0.00	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0.00	233.43	62.27
		0.00	-148.54	0.00

Tabla 18. Plan de recolección de datos de vibraciones de Fiberizer B

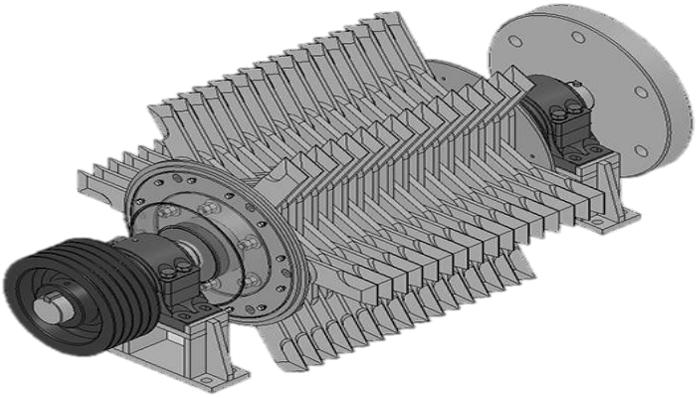
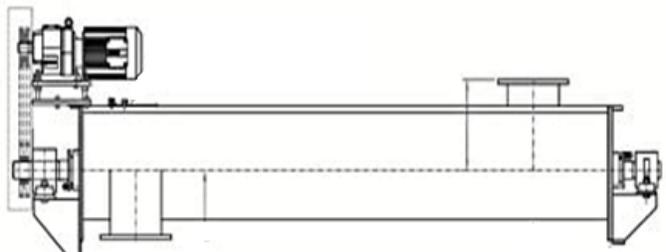
EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	FIBERIZER B			
N° de inventario	AZUCLAV-06B			
Modelo	ASAGA 6 45"			
Marca	Gallego			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ² Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0.00	7.33	2.33
		0.00	-4.67	0.00
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0.00	4.73	0.00
		0.00	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0.00	233.43	62.27
0.00		-148.54	0.00	

Tabla 19. Plan de recolección de datos de vibraciones del Conductor 2A

EMPRESA AZUCARERA				
Área	LAVADEROS			
Equipo	CONDUCTOR 2ª			
N° de inventario	AZUCLAV-05			
Modelo	Transportador de Polines			
Marca	COTRANS			
Frecuencia	Semanal			
Tiempo Total	10 min			
N° de personas	1			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 2.5 mm Y 10 a 20 mm			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 70 mm/s Y 260 mm/s			
Nivel de Alarma Desplazamiento	X,Z 5 mm/s ² Y 9 mm/s ²			
DATOS DEL MEDIDOR				
Marca	SKF Microlog Analyzer			
Serie	GX - CMXA 75			
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN				
Fecha	Parámetro	PUNTOS DE MEDICIÓN		
		B		
		X	Y	Z
07-de Agosto-2019	Aceleración Máximo/mínimo	0.00	7.33	2.33
		0.00	-4.67	0.00
	Desplazamiento Máximo/mínimo	0.00	4.73	0.00
		0.00	-7.43	-2.36
	Velocidad Máximo/mínimo	0.00	233.43	62.27
		0.00	-148.54	0.00

3.2.3 Establecimiento de los Niveles de Alarma

Fijar los niveles de Alarma según los valores de diseño de los equipos, en caso de no poseerlos se recomienda el uso de normas de vibración en velocidad vigente ISO 10816 – 1

Tabla 20.- Valores de alarma para la severidad de vibración en Velocidad RMS

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes			
mm/s RMS	in/s Peak	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.02	Good	Good	Good	Good
0.45	0.03				
0.71	0.04				
1.12	0.06	Satisfactory	Satisfactory	Good	Good
1.80	0.10				
2.80	0.16	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Satisfactory	Satisfactory
4.50	0.25				
7.10	0.40	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)
11.20	0.62				
18.00	1.00				
28.00	1.56				
45.00	2.51				

Fuente: Norma Standard ISO 10816 - 1

Tabla de valores de Alarma para la envolvente de Aceleración de acuerdo a la tolerancia de valores para rodamientos en Envoltorio de Aceleración norma SKF

Tabla 21.- Valores de Alarma para la envolvente de Aceleración - Fuente SKF

Enveloping Severity gE peak to peak	Shaft Diameter & Speed		
	Dia. between 200 & 500mm and Speed <500rpm	Dia. Between 50 & 300 mm & speed between 500 & 1800rpm	Dia. Between 20 & 150mm & Speed is either 1800 or 3600rpm
0.1	Good	Good	Good
0.5			
0.75	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory
1	Unsatisfactory (alert)		
2	Unacceptable (danger)	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)
4			
10		Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)

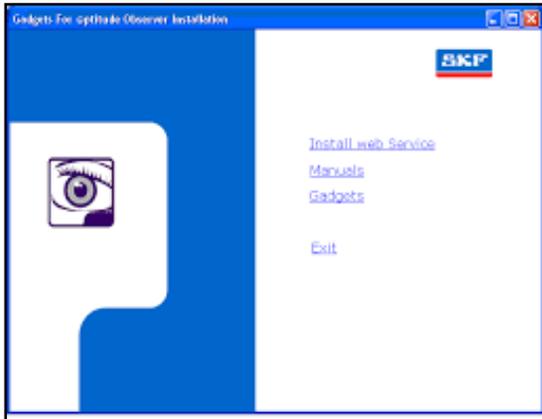
3.2.4 Proceso del análisis Vibracional

Una vez que tienes elaborada la ruta de vibraciones, y tienes conocimiento de los niveles de alarmas de vibraciones se procederá a hacer lo siguiente:

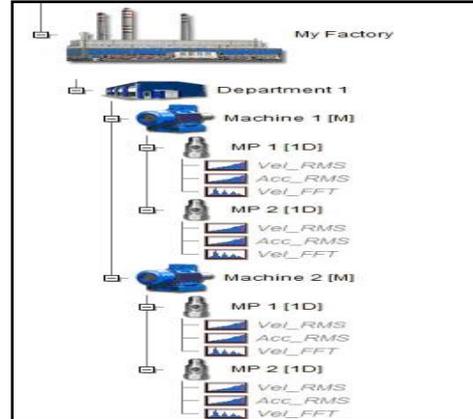
1. **Software:** Se procede a instalar adecuadamente y abrir el software **SKF @ptitude Analyst**.
2. **Árbol de Ruta:** Se crea la ruta elaborada anteriormente (Tabla 10) dentro del programa.
3. **Configuración:** Se configura cada punto de vibración de los equipos con los datos técnicos obtenidos, como, por ejemplo: Tipo de motor, Velocidad del equipo, Número de rodamientos, numero de engranes, etc.
4. **Equipo:** Una vez hecho la configuración de los puntos de vibraciones, se transfiere la configuración al equipo llamado **SKF Microlog Analyzer serie GX - CMXA 75** .
5. **Adquisición:** El personal especializado procede a realizar la recolecta de vibración de cada punto de los equipos, siguiendo el procedimiento adecuado del mismo.
6. **Descarga:** Al terminar de recolectar la información de vibración, se descarga los datos obtenidos en campo, al software **SKF @ptitude Analyst**.
7. **Interpretación:** El analista de Vibraciones procede a interpretar el espectro de vibración con el fin de obtener el problema inicial de una futura falla.

3.2.5 Esquema del proceso del análisis Vibracional

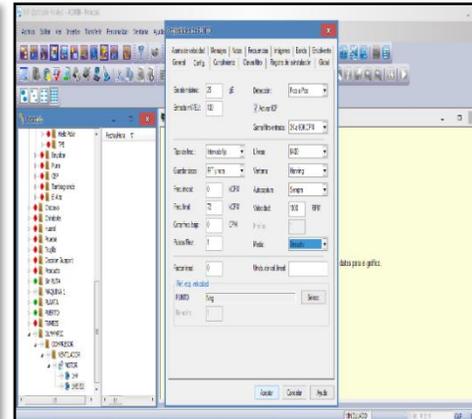
1.- SOFTWARE



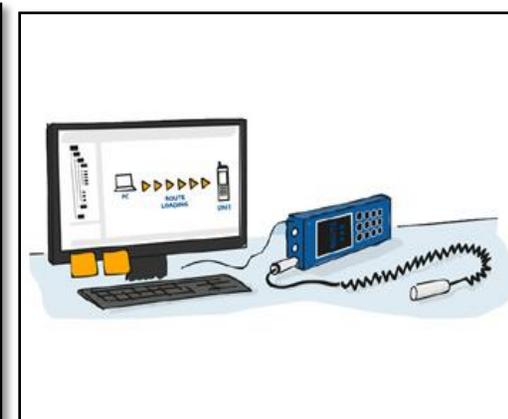
2.- ÁRBOL DE RUTA



3.- CONFIGURACIÓN



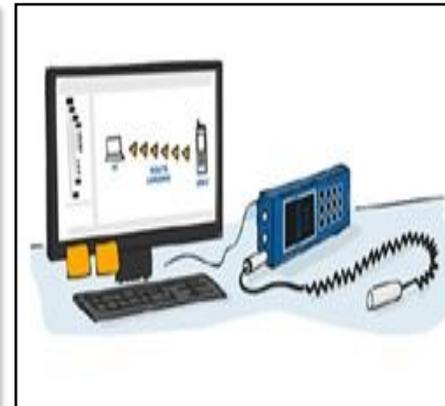
4.- DESCARGA DEL SOFTWARE AL EQUIPO



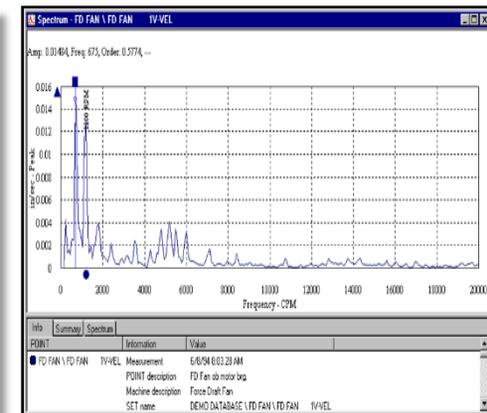
5.- ADQUISICIÓN DE DATOS DE VIBRACIÓN



6.- DESCARGA DEL EQUIPO AL SOFTWARE



7.- INTERPRETACIÓN DE ESPECTRO



MOTOR

Su condición operativa es **ALARMA** debido a los defectos en el rotor que están condicionando la operación del equipo.

CHUMACERAS

Se aprecia una amplitud predominante al 1X, debido a desbalance inducido por desgaste de los martillos del rotor. Esto repercute en la soltura de rodamientos presente en el equipo, lo que se evidencia en el aumento de amplitud de los armónicos de la frecuencia de giro. La forma de onda muestra los impactos a la frecuencia de giro del equipo debido a la soltura, los cuales llegan a niveles elevados. Los espectros envolventes muestran presencia de armónicos debido a la soltura mencionada. Esta condición aumentada en el tiempo como muestra el gráfico de tendencia. Su condición operativa es **EMERGENCIA**.

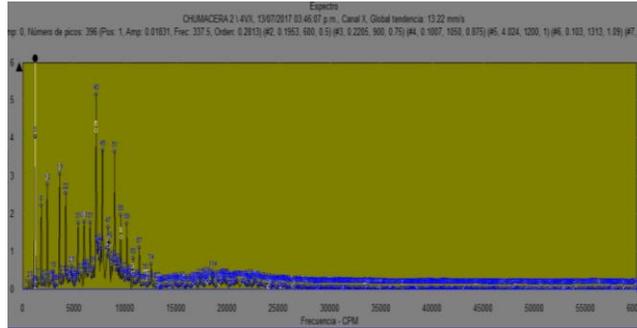
2. Diagnóstico del Buster B:

2.1. Valores globales por punto de medidas:

MOTOR			CHUMACERAS		
Medida	Punto 1	Punto 2	Medida	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	5.00	5.90	Horizontal (mm/s)	8.00	8.00
Envolvente-F3(gE)	0.10	0.60	Envolvente-F3(gE)	1.10	0.80
Vertical (mm/s)	4.00	2.40	Vertical (mm/s)	7.00	6.00
Axial (mm/s)	2.00	2.90	Axial (mm/s)	10.40	13.12

Tabla 23.- Espectro de Vibración del Buster B

2.2.- Espectro de Vibración:



Gráfica 5.- Espectro de Vibración del Buster B

MOTOR:

Presenta vibración inducida por el rotor a la primera armónica de frecuencia 1X con múltiplos armónicos sincrónicos, su condición es de **ALERTA**.

CHUMACERAS:

Se aprecia una gran amplitud de vibración a consecuencia del desbalance dinámico del rotor del buster al 1X conjuntamente con múltiplos armónicos de frecuencia debido a la soldadura mecánica. Según norma ISO 10816-3 su condición operativa es **ALARMA**.

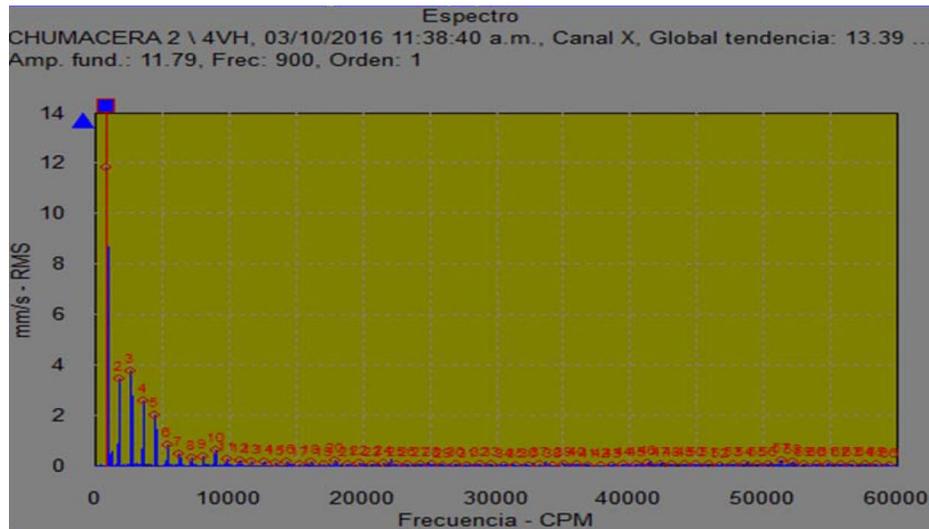
3. Diagnóstico del Machetero B:

3.1. Valores globales por punto de medidas:

MOTOR			CHUMACERAS		
Medida	Punto 1	Punto 2	Medida	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	2.80	3.30	Horizontal (mm/s)	8.00	13.30
Envolvente-F3(gE)	0.09	0.20	Envolvente-F3(gE)	2.30	1.70
Vertical (mm/s)	1.50	1.40	Vertical (mm/s)	3.40	6.70
Axial (mm/s)	1.30	1.10	Axial (mm/s)	2.80	6.50

Tabla 24.- Espectro de Vibración del Machetero B

3.2.- Espectro de Vibración:



Gráfica 6.- Espectro de vibración del Machetero B

MOTOR

Presenta excitación de frecuencia de falla de canastilla y de pista interior del rodamiento lado acoplamiento (punto 2) su nivel de vibración en **NORMAL**.

CHUMACERAS

Se observa frecuencia predominante a la velocidad de giro 1X debido al desbalance generado del rotor. A consecuencia de esta observación se está generando solturas mecánicas en el sistema. su nivel de vibración en **ALARMA**.

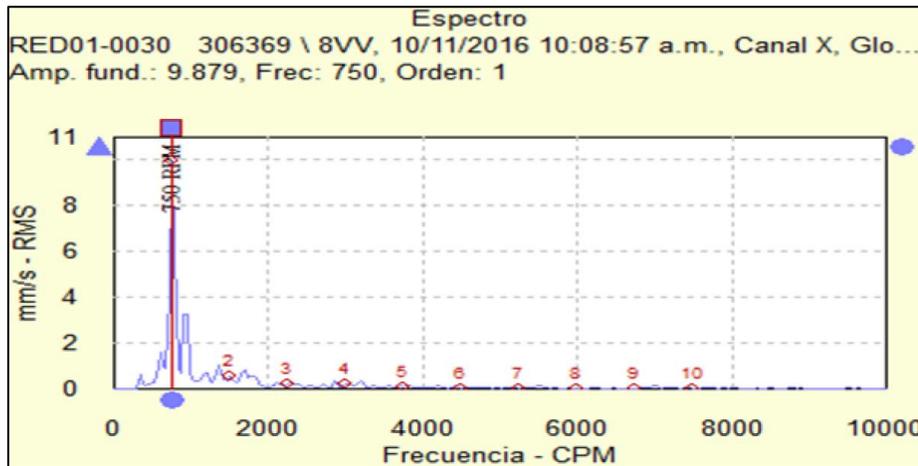
4. Diagnóstico del Conductor de Caña 1B:

4.1. Valores globales por punto de medidas:

MOTOR			REDUCTOR		
Medida	Punto 1	Punto 2	Medida	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	10.90	9.59	Horizontal (mm/s)	8.90	13.30
Envolvente-F3(gE)	0.14	0.19	Envolvente-F3(gE)	0.49	0.60
Vertical (mm/s)	6.37	5.66	Vertical (mm/s)	8.90	9.78
Axial (mm/s)	2.47	3.99	Axial (mm/s)	3.73	3.49

Tabla 25.- Valores globales del Conductor de Caña 1B

4.2. Espectro de Vibración:



Gráfica 7.- Espectro de Vibración

MOTOR:

Se observa elevada vibración debido a la falta de rigidez del sistema predominando las frecuencias 750 CPM (Sprokert / cadena) y un ligero desbalance del acoplamiento 1800 CPM 1X (motor) siendo su condición de **ALARMA**.

REDUCTOR:

Se observa elevada vibración a consecuencia de la falta de rigidez, fisura de la base del reductor, fisura de la base de la chumacera lado transmisión, donde se muestra la frecuencia predominante de 750 CPM (frecuencia del reductor) lo que ocasiona el desgaste anticipados de los componentes internos del equipo. Siendo su condición de **ALARMA**.

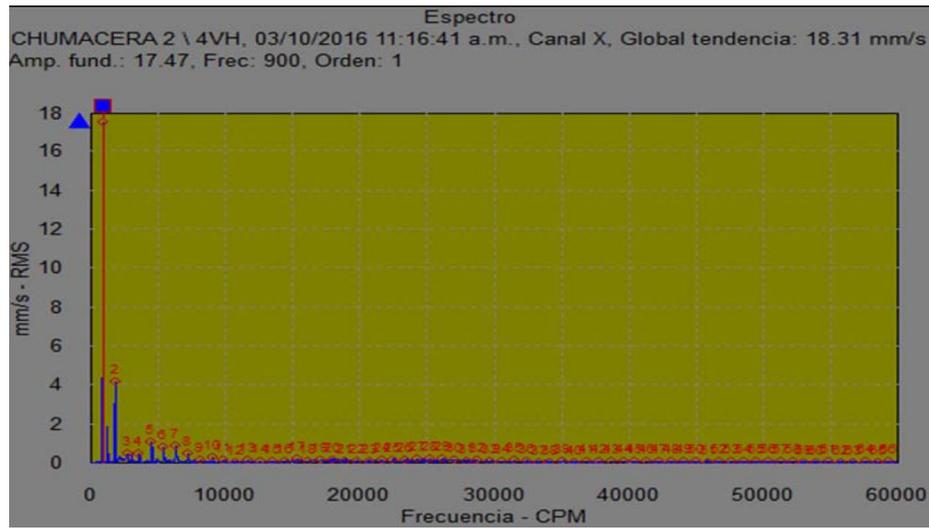
5. Diagnóstico del Machetero A:

5.1. Valores globales punto de medidas:

MOTOR			REDUCTOR		
Medida	Punto 1	Punto 2	Medida	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	5.00	4.90	Horizontal (mm/s)	9.70	18.30
Envolvente-F3(gE)	0.04	0.05	Envolvente-F3(gE)	0.60	1.10
Vertical (mm/s)	1.00	2.90	Vertical (mm/s)	7.50	10.50
Axial (mm/s)	0.80	3.30	Axial (mm/s)	2.80	3.70

Tabla 26.- Valores globales del Machetero A

5.2. Espectro de Vibración:



Gráfica 8.- Espectro de Vibración del Machetero A

MOTOR

Valores dentro de rango **NORMAL** de operación.

CHUMACERAS

Se observa frecuencia predominante al 1X (velocidad de giro del equipo) ocasionado por el desbalance del rotor, conjuntamente se aprecia la excentricidad dinámica de este a la segunda armónica 2X. Según norma ISO 10816-3 su condición operativa es **ALARMA**.

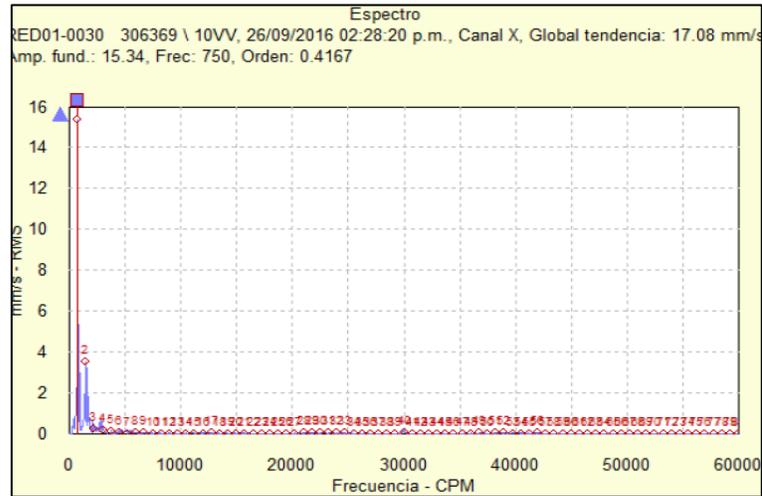
6. Diagnóstico del Conductor de caña 1A:

6.1. Valores globales por punto de medidas:

MOTOR			REDUCTOR		
Medida	Punto 1	Punto 2	Medida	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	9.00	8.80	Horizontal (mm/s)	6.24	7.80
Envolvente-F3(gE)	0.12	0.26	Envolvente-F3(gE)	0.67	0.65
Vertical (mm/s)	3.85	6.31	Vertical (mm/s)	5.26	7.19
Axial (mm/s)	2.50	3.24	Axial (mm/s)	3.57	3.97

Tabla 27.- Valores globales del Conductor de Caña 1^a

6.2. Espectro de Vibración:



Gráfica 9.- Espectro de vibración del Conductor 1A

MOTOR:

Se observa elevada vibración debido a la falta de rigidez del sistema predominando.

REDUCTOR:

Se observa elevada vibración a consecuencia de la falta de rigidez del sistema donde se muestra la frecuencia predominante.

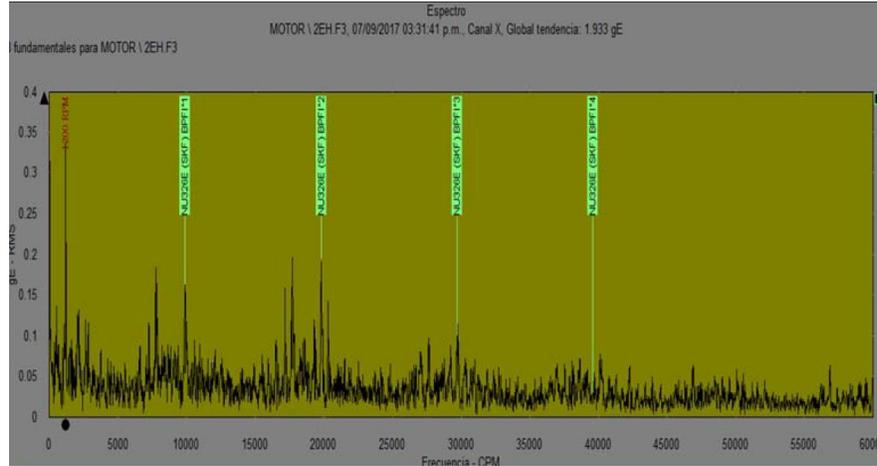
7. Diagnóstico del Buster A

7.1. Valores globales por punto de medidas:

MOTOR			REDUCTOR		
Medida	Punto 1	Punto 2	Medida	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	3.70	2.60	Horizontal (mm/s)	6.90	8.00
Envolvente-F3(gE)	0.10	1.90	Envolvente-F3(gE)	1.40	3.50
Vertical (mm/s)	1.20	0.90	Vertical (mm/s)	5.60	6.80
Axial (mm/s)	0.40	0.60	Axial (mm/s)	8.60	8.50

Tabla 28.- Valores globales del Buster B

7.2. Espectro de Vibración:



Gráfica 10.- Espectro de Vibraciones del Buster B

MOTOR

Se observa excitación de frecuencia de falla de la pista interior BPF1 en el rodamiento lado acople.

CHUMACERAS

Se aprecia una gran amplitud de vibración a consecuencia del desbalance dinámico del rotor del buster al 1X conjuntamente con múltiplos armónicos de frecuencia debido a la soldadura mecánica. Según norma ISO 10816-3 su condición operativa es **ALARMA**.

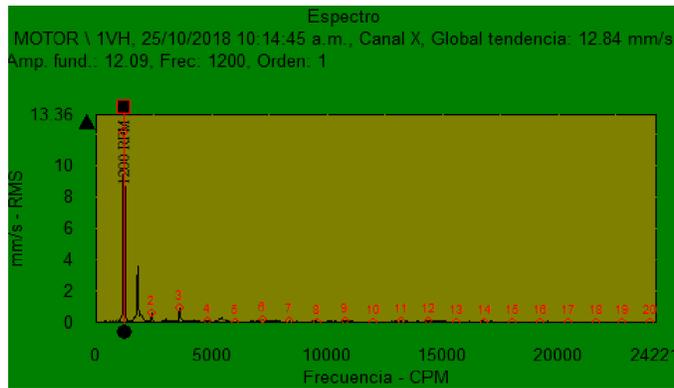
8. Diagnóstico del Fiberizer A

8.1. Valores globales por punto de medidas:

MOTOR			REDUCTOR		
Medida	Punto 1	Punto 2	Medida	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	12.83	8.79	Horizontal (mm/s)	9.75	16.14
Envolvente-F3(gE)	0.20	0.15	Envolvente-F3(gE)	4.63	4.79
Vertical (mm/s)	1.96	3.76	Vertical (mm/s)	8.36	10.93
Axial (mm/s)	3.53	5.09	Axial (mm/s)	10.84	9.41

Tabla 29.- Valores globales del Fiberizer B

8.2. Espectro de Vibración:



Gráfica 11.- Espectro de Vibración de Fiberizer B

MOTOR

Presenta una vibración elevada de 12.83 mm/s lo cual es inducida por la soltura mecánica, lo cual es amplificada por el desbalance residual que existe debida al peso no uniforme de los martillos. Su condición según NORMA ISO 10816-3 es de **ALARMA**.

CHUMACERAS

El espectro 4VH muestra una vibración global de 16.14 mm/s, indicando desbalance residual producido por la no uniformidad del peso de los martillos (desgaste), amplificada por la soltura que predomina en el equipo. Presenta el envolvente de aceleración elevado de 4.79 gE con múltiples armónicos, dicha condición es amplificada por los impactos de la sobrecarga no uniforme de los martillos en el rotor, induciendo soltura en los rodamientos. Su condición según NORMA ISO 10816-3 es de **ALARMA**.

3.2.8. Plan de Acción tras realizar el análisis de Vibraciones

Se enfoca la elaboración de un plan de acción tras el estudio de vibraciones de los equipos críticos del área de lavaderos.

Tabla 30. Plan de Acción

EQUIPO	COMPONENTE	CONDICIÓN	DEFECTO	CAUSA	PLAN DE ACCIÓN
FIBERIZER B	Motor	Alarma	Anomalía Rotor	soltura de rodamientos presente en el equipo, lo que se evidencia en el aumento de amplitud de los armónicos de la frecuencia de giro	Se recomienda un balanceo dinámico de 2 planos, ajuste de pernería en el motor, Verificar estado de envolventes de aceleración de rodamientos
	Chumaceras	Emergencia	Desbalance	Se aprecia una amplitud predominante al 1X, debido a desbalance inducido por desgaste de los martillos del rotor.	
BUSTER B	Motor	Alerta	Anomalía Rotor	Presenta vibración inducida por el rotor a la primera armónica de frecuencia 1X con múltiples armónicos síncronos como resultado soltura de rodamientos presente en el equipo	Se recomienda un balanceo dinámico de 2 planos, ajuste de pernería en el motor, Verificar estado de envolventes de aceleración de rodamientos
	Chumaceras	Alarma	Desbalance	Gran amplitud de vibración a consecuencia del desbalance dinámico del rotor del buster al 1X conjuntamente con múltiples armónicos de frecuencia debido a la soltura mecánica.	
MACHETERO B	Motor	Normal	Normal	Valores dentro de lo Normal	Se requiere realizar el reajuste periódico de la pernería de sujeción del motor y de las chumaceras, mejorar el diseño en la distribución de masas y ubicación de machetes. Evaluar la posibilidad de balancear el rotor
	Chumaceras	Alarma	Desbalance	Se observa frecuencia predominante a la velocidad de giro 1X debido al desbalance generado del rotor. A consecuencia de esta observación se está generando solturas mecánicas en el sistema.	

EQUIPO	COMPONENTE	CONDICIÓN	DEFECTO	CAUSA	PLAN DE ACCIÓN
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1B	Motor	Alarma	Falta de Rigidez	elevada vibración debido a la falta de rigidez del sistema predominando las frecuencias 750 CPM (Sprokert / cadena) y un ligero desbalance del acoplamiento 1800 CPM 1X (motor)	Reparar las fisuras en la base del reductor y en la chumacera del lado transmisión (la base actual es muy débil por múltiples reparaciones). * Revisar el alineamiento de la transmisión de la cadena, lubricación continua y estado de la misma.
	Reductor	Alarma	Falta de Rigidez	Elevada vibración a consecuencia de la falta de rigidez, fisura de la base del reductor, fisura de la base de la chumacera lado transmisión, donde se muestra la frecuencia predominante de 750 CPM (frecuencia del reductor) lo que ocasiona el desgaste anticipados de los componentes internos del equipo.	* Revisar el estado del alojamiento interno de la catalina de transmisión del reductor (juego excesivo de la chaveta y catalina). * Revisar el correcto alineamiento de las chumaceras de la cadena de transportadora (se aprecia incorrecto tensado de cadena) * Instalar refuerzo en la viga (base del reductor). * Proporcionar plano, catálogos, información técnica del reductor para mejorar los diagnósticos de cada componente del equipo.
MACHETERO A	Motor	Normal	Normal	Normal	Se requiere realizar el reajuste periódico de la pernería de sujeción del motor y de las chumaceras, mejorar el diseño en la distribución de masas y ubicación de machetes. Evaluar la posibilidad de balancear el rotor
	Chumaceras	Alarma	Desbalance	Frecuencia predominante al 1X (velocidad de giro del equipo) ocasionado por el desbalance del rotor, conjuntamente se aprecia la excentricidad dinámica de este a la segunda armónica 2X.	

EQUIPO	COMPONENTE	CONDICIÓN	DEFECTO	CAUSA	PLAN DE ACCIÓN
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1A	Motor	Alarma	Falta de Rigidez	elevada vibración debido a la falta de rigidez del sistema predominando las frecuencias 750 CPM (Sprokert / cadena) y un ligero desbalance del acoplamiento 1800 CPM 1X (motor)	<p>Reparar las fisuras en la base del reductor y en la chumacera del lado transmisión (la base actual es muy débil por múltiples reparaciones).</p> <p>* Revisar el alineamiento de la transmisión de la cadena, lubricación continua y estado de la misma.</p> <p>* Revisar el estado del alojamiento interno de la catalina de transmisión del reductor (juego excesivo de la chaveta y catalina).</p> <p>* Revisar el correcto alineamiento de las chumaceras de la cadena de transportadora (se aprecia incorrecto tensado de cadena)</p>
	Reductor	Alarma	Falta de Rigidez	Elevada vibración a consecuencia de la falta de rigidez, fisura de la base del reductor, fisura de la base de la chumacera lado transmisión, donde se muestra la frecuencia predominante de 750 CPM (frecuencia del reductor) lo que ocasiona el desgaste anticipados de los componentes internos del equipo.	<p>* Instalar refuerzo en la viga (base del reductor).</p> <p>* Proporcionar plano, catálogos, información técnica del reductor para mejorar los diagnósticos de cada componente del equipo.</p>
BUSTER A	Motor	Alerta	Anomalía en el rodamiento	falla de la pista interior BPGI	Se recomienda un balanceo dinámico de 2 planos, ajuste de pernería en el motor, Verificar estado de envoltentes de aceleración de rodamientos
	Chumaceras	Alarma	Desbalance	Gran amplitud de vibración a consecuencia del desbalance dinámico del rotor del buster al 1X conjuntamente con múltiples armónicos de frecuencia debido a la soltura mecánica.	

EQUIPO	COMPONENTE	CONDICIÓN	DEFECTO	CAUSA	PLAN DE ACCIÓN
FIBERIZER A	Motor	Alarma	Anomalía Rotor	soltura de rodamientos presente en el equipo, lo que se evidencia en el aumento de amplitud de los armónicos de la frecuencia de giro	Se recomienda un balanceo dinámico de 2 planos, ajuste de pernería en el motor, Verificar estado de envolventes de aceleración de rodamientos
	Chumaceras	Alarma	Desbalance	Se aprecia una amplitud predominante al 1X, debido a desbalance inducido por desgaste de los martillos del rotor.	

En la tabla N° 31 se menciona el plan de acción para cada uno de los equipos tras la evaluación del análisis de vibraciones el cual servirá para la disminución de las paradas no programadas logrando el aumento de la disponibilidad.

3.2.9. Costo del Plan de acción

Identificando las acciones correcciones a tomar en los equipos analizados por vibraciones se detalla a continuación el costo de cada uno ellos en la tabla N° 32.

Tabla 31. Costo del Plan de acción

EQUIPO	COMPONENTE	CONDICIÓN	ACCION A TOMAR	COSTO
FIBERIZER B	Motor	Alarma	Balanceo Dinámico	S/. 350.00
	Chumaceras	Emergencia		
BUSTER B	Motor	Alerta	Balanceo Dinámico	S/. 350.00
	Chumaceras	Alarma		
MACHETERO B	Motor	Normal	Cambio de pernería	S/. 55.00
	Chumaceras	Alarma		
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1B	Motor	Alarma	Alineamiento láser y reparar fisuras	S/. 200.00
	Reductor	Alarma		
MACHETERO A	Motor	Normal	Cambio de pernería	S/. 55.00
	Chumaceras	Alarma		
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1A	Motor	Alarma	Alineamiento láser y reparar fisuras	S/. 200.00
	Reductor	Alarma		
BUSTER A	Motor	Alerta	Balanceo Dinámico	S/. 350.00
	Chumaceras	Alarma		
FIBERIZER A	Motor	Alarma	Balanceo Dinámico	S/. 350.00
	Chumaceras	Alarma		
TOTAL				S/1910.00

Los equipos que no cuentan con un índice de criticidad alto serán evaluados con el AMEF, para realizar un plan de acciones correctivas a futuro de tal manera que cumpliremos con el 80% - 20%.

3.3. Modelar Y Simular En El Software Promodel Para Determinar La Disponibilidad De Los Equipos

3.3.1. Simulación de la situación actual de los equipos críticos en el programa Promodel 2016

Para lograr construir una modulación operacional de los quipos críticos y la simulación de tiempos perdidos que estos ocasionan utilizaremos como instrumento el software informático Promodel 2016 el cual posee distintas herramientas capaces de interrelacionar los tiempos operacionales teniendo influencia en la disponibilidad de las máquinasla por lo expuesto en la figura N° 17.

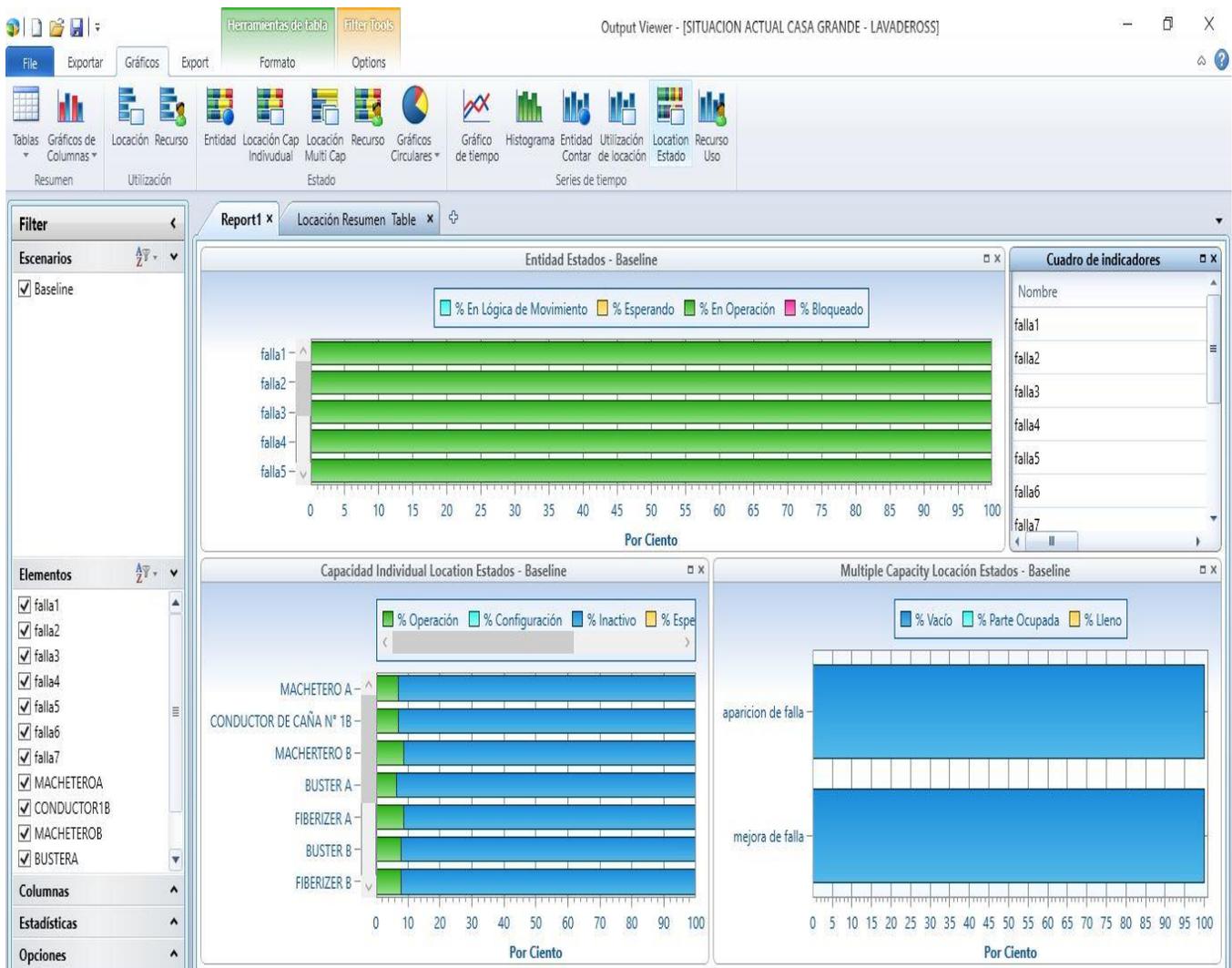


Figura N° 17 Fallas generadas

Obteniendo los fallos de cada equipos se ingresará las frecuencias en los comandos de los arribos para lo cual se tomara en consideración los datos de funcionabilidad de los equipos con mayor incidencia de fallas por lo consiguiente se evidencia en tabla N° 08.

En la Figura N° 18 se detalla los porcentajes de los valores absolutos.

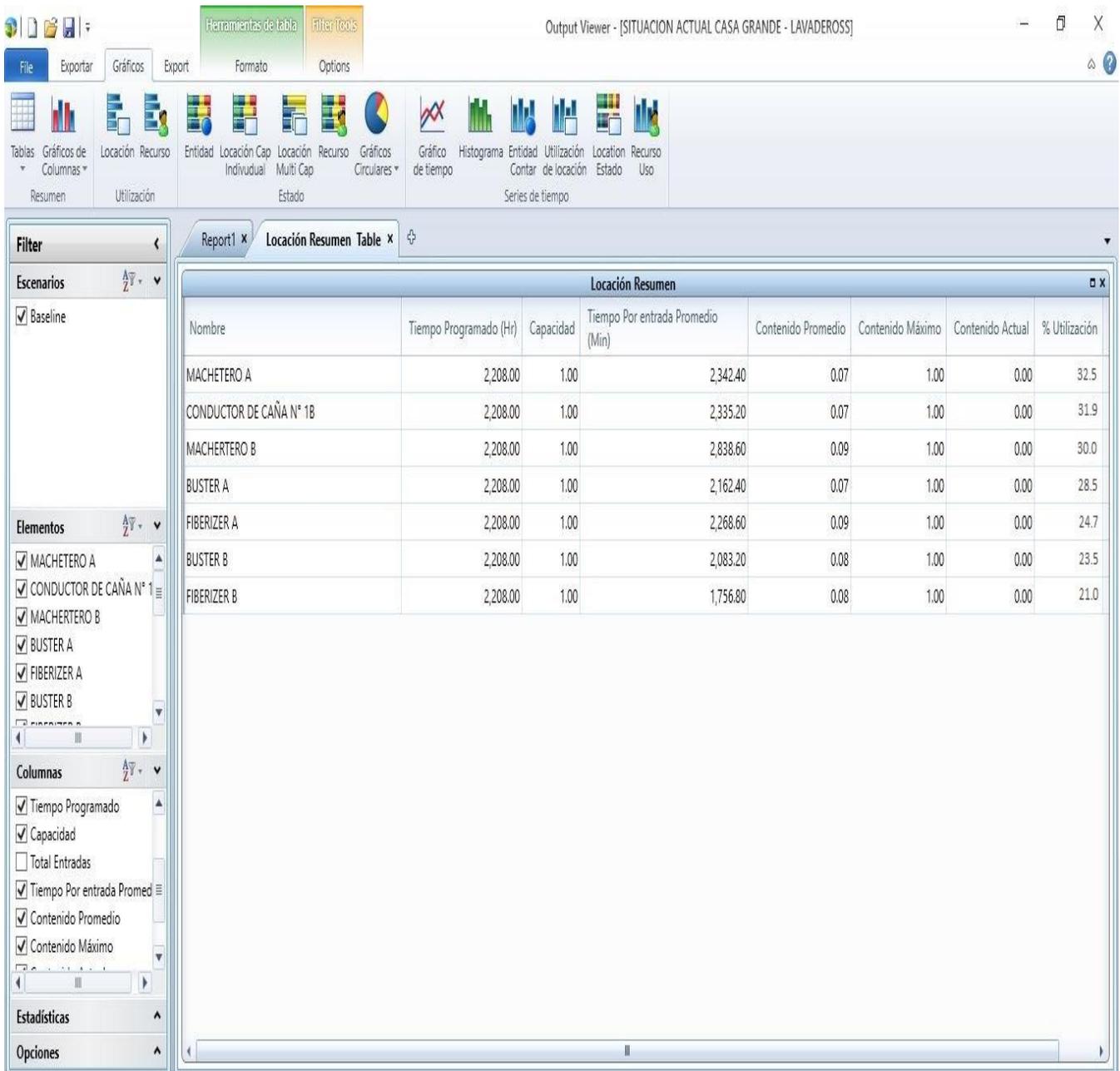


Figura 18. Magnitud de la probabilidad de falla

Por consiguiente la Tabla N° 33 se interpreta la utilización, la máxima disponibilidad y la disponibilidad actual de las máquinas.

Tabla 32. Reporte de la simulación Actual

EQUIPOS	MAXIMA DISPONIBILIDAD	UTILIZACION	DISPONIBILIDAD ACTUAL
MACHETERO A	100%	32.50%	67.50%
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 B	100%	31.90%	68.10%
MACHETERO B	100%	30.00%	70.00%
BUSTER A	100%	28.50%	71.50%
FIBERIZER A	100%	24.70%	75.30%
BUSTER B	100%	23.50%	76.50%
FIBERIZER B	100%	21.00%	79.00%

Fuente. Elaboración Propia en Promodel

Las maquinas con mayor incidencia de fallas en Lavaderos fueron simuladas según la expresión absoluta, para lo cual se realiza la comparación al utilizar la siguiente operación el cálculo real en Microsoft Excel – calculo con simulación, como se muestra en la tabla N° 33.

Tabla 33. Margen de error con valor absoluto - Actual

EQUIPOS	CÁLCULO REAL EN EXCEL	CALCULO PROMODEL	
MACHETERO A	69.33%	67.50%	1.83%
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 B	69.78%	68.10%	1.68%
MACHETERO B	71.48%	70.00%	1.48%
BUSTER A	72.85%	71.50%	1.35%
FIBERIZER A	76.48%	75.30%	1.18%
BUSTER B	77.53%	76.50%	1.03%
FIBERIZER B	79.82%	79.00%	0.82%

Fuente. Elaboración Propia en Promodel

Esta simulación detalla el cálculo en Promodel como se obtiene el margen de error con valor absoluto el cual es igual a 1.83% tal como se visualiza en la tabla N° 34

3.3.2. Propuesta de Simulación de mejora tras emplear el Análisis vibracional a los equipos con mayor incidencia de fallas en el programa Promodel 2016

Luego de emplear el análisis vibracional la magnitud de fallas han decrecentado notoriamente y por lo cual las paradas no programadas disminuyeron obteniendo disminución de tiempos perdidos, por lo que se expone en la tabla N°35.

Tabla 34.Formato de tiempos perdidos agosto – Octubre

TIEMPOS DE PARADAS EN EL PROCESO AZUCARERO								
FALLA OCURRIDA	TIEMPO OCASIONADA POR FALLAS (HORAS)					TIEMPO DE MANTENIMIENTO	MAQUINA	AREA
	OPERACION	MECANICAS	ELECTRICAS	INSTRUMENTACION	OTROS	TOTAL PARADAS N.P		
FALLA PREMATURA DE RODAMIENTOS		24.11				137.37	MACHETERO	LAVADERO "A"
		24.67					CONDUCTOR DE CAÑA N° 1	LAVADERO "B"
		31.06					FIBERIZER	LAVADERO "B"
		31.30					BUSTER	LAVADERO "B"
		26.23					BUSTER	LAVADERO "A"
DESCARRILAMIENTO DE CADENAS		24.11				105.05	MACHETERO	LAVADERO "A"
		24.67					CONDUCTOR DE CAÑA N° 1	LAVADERO "B"
		25.21					MACHETERO	LAVADERO "B"
		31.06					FIBERIZER	LAVADERO "B"
DESBALANCE DINÁMICO		32.11				111.27	CONDUCTOR DE CAÑA 2	LAVADERO "A"
		25.21					MACHETERO	LAVADERO "A"
		26.25					BUSTER	LAVADERO "A"
		27.7					FIBERIZER	LAVADERO "A"
SOLTURAS		32.11				90.69	CONDUCTOR DE CAÑA 2	LAVADERO "A"
		27.28					FIBERIZER	LAVADERO "A"
		31.30					BUSTER	LAVADERO "B"

Identificamos las maquinas asociándolas a las fallas para realizar un cálculo operacional para obtener la disponibilidad mejorada lograda por la propuesta del plan de mantenimiento por análisis de vibraciones donde se evidencia los tiempos muertos como se muestra en la tabla N° 36

Tabla 35. Tiempo total de paradas luego de haber implementado el mantenimiento predictivo por análisis vibracional

EQUIPO	Tiempo Total de paradas (Hrs)
MACHETERO A	48.22
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 B	49.34
MACHETERO B	50.42
BUSTER A	52.47
FIBERIZER A	54.55
BUSTER B	60.26
FIBERIZER B	62.12
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 A	64.22

Fuente. Tabla N° 19

Tal como se muestra la siguiente tabla describe para el 2° trimestre, el tiempo total de paradas como se muestra la tabla N° 36.

3.3.3. Disponibilidad tras efectuar el análisis Vibracional

El cálculo operacional se realiza a base la frecuencia trimestral agosto – octubre, teniendo como horas trabajo 2208 horas, por lo que se expone en la tabla N° 37.

Tabla 36. Disponibilidad mejorada tras emplear el análisis predictivo

No.	TIPO DE DEFECTO	Horas de trabajo	Tiempo de paradas (Hrs)	N° de fallas	Mantenimiento preventivo programado	DISPONIBILIDAD	MTTR (Hrs / Falla)	MP+TTR	MTBF (Hrs Fallas)	TASA DE FALLAS	TASA DE REPARACION	CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD	OEE
1	MACHETERO A	2208	48.22	5	192	97.61%	9.64	240.22	393.56	0.00254	0.1037	94.54%	89.87%	82.93%
2	CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 B	2208	49.34	5	192	97.55%	9.87	241.34	393.33	0.00254	0.1013	94.54%	89.33%	82.38%
3	MACHETERO B	2208	50.42	5	192	97.50%	10.08	242.42	393.12	0.00254	0.0992	94.54%	88.80%	81.85%
4	BUSTER A	2208	52.47	4	192	97.40%	13.12	244.47	490.88	0.00204	0.0762	95.60%	81.42%	75.81%
5	FIBERIZER A	2208	54.55	4	192	97.29%	13.64	246.55	490.36	0.00204	0.0733	95.60%	80.19%	74.58%
6	BUSTER B	2208	60.26	4	192	97.01%	15.07	252.26	488.94	0.00205	0.0664	95.58%	76.90%	71.31%
7	FIBERIZER B	2208	62.12	3	192	96.92%	20.71	254.12	651.29	0.00154	0.0483	96.67%	65.57%	61.43%
8	MACHETERO A	2208	64.22	6	192	96.81%	10.70	256.22	325.30	0.00307	0.0934	93.44%	87.29%	78.96%
TOTAL				36	1536	97.26%	102.83		3626.77	0.000275727	0.009725	95.06%	82.42%	76%

Fuente. Tabla N° 19

Se visualiza como resultado una disponibilidad trimestral de 97.26%, según tabla N° 37.

3.3.4 Simulación Promodel

Se obtiene la información de la tabla N°21, procediendo a llenar los datos de las frecuencias de fallas al software ProModel 2016 para realizar la simulación.

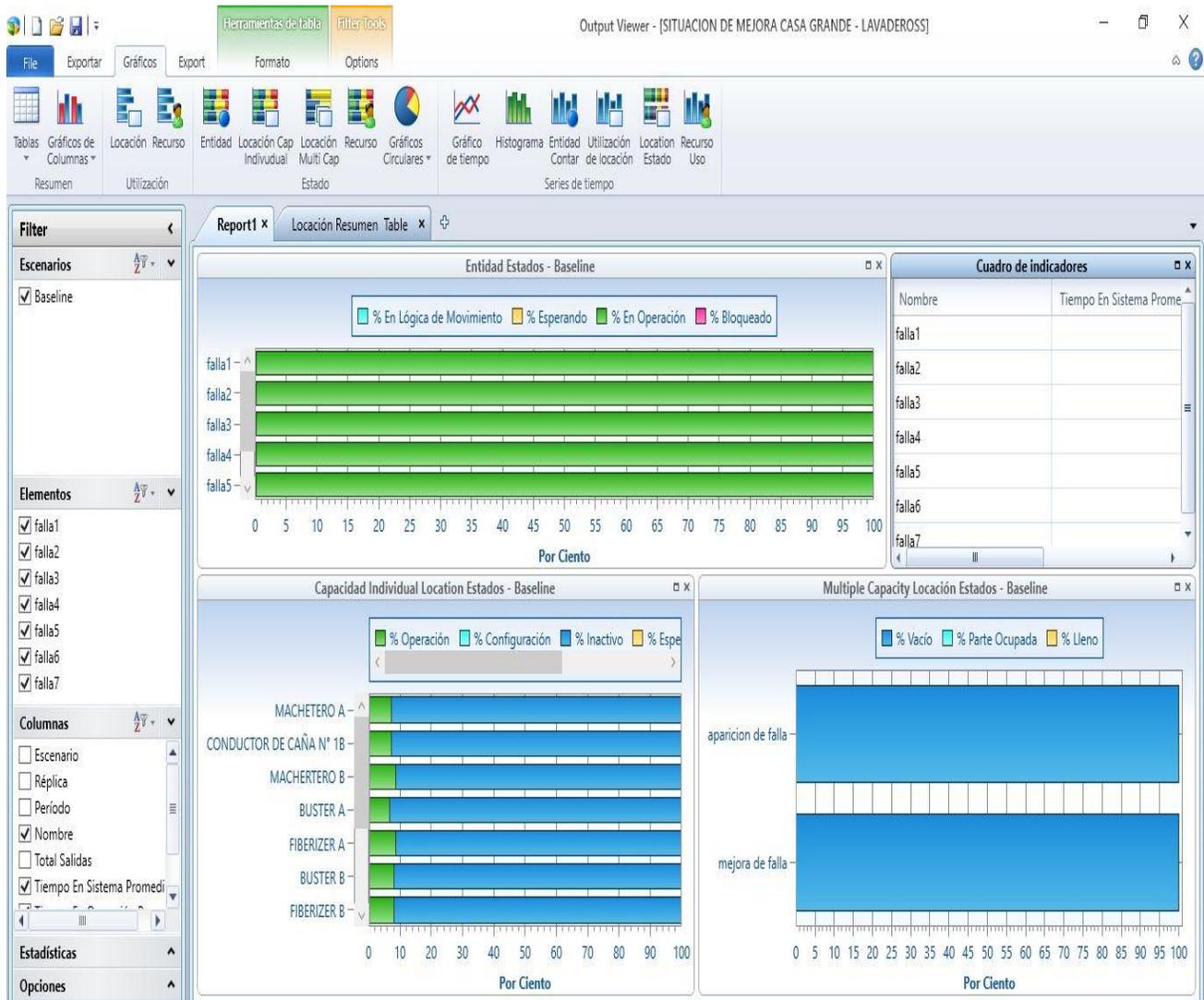


Figura 19. Fallas generadas por simulación de máquinas –Mejorada

Fuente. Elaboración Propia - Promodel

Ingresadas las fallas tabuladas en el tiempo, nos dirigimos al comando de los arribos para ingresar las frecuencias de las máquinas con mayor cantidad de incidencias según se visualiza en la tabla N° 21.

No obstante, visualizamos el margen de error con valor absoluto expuesto en la Figura N° 20.

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización
MACHETERO A	2,160.00	1.00	2,319.98	0.81	1.00	1.00	2.32
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1B	2,160.00	1.00	2,293.30	0.73	1.00	1.00	2.26
MACHETERO B	2,160.00	1.00	2,803.97	0.82	1.00	1.00	2.31
BUSTER A	2,160.00	1.00	2,135.30	0.71	1.00	1.00	2.40
FIBERIZER A	2,160.00	1.00	2,213.82	0.60	1.00	1.00	2.50
BUSTER B	2,160.00	1.00	2,070.94	0.59	1.00	1.00	2.76
FIBERIZER B	2,160.00	1.00	1,756.22	0.46	1.00	1.00	2.84

Figura 20. Porcentaje de uso de tiempo de falla por máquina - Mejorado

Fuente. Elaboración propia en Promodel

Tras la simulación de los tiempos de operación, efectuamos la interpretación del reporte de simulación como se detalla en la Tabla N° 38.

Tabla 37. Reporte de simulación mejorada

EQUIPOS	MAXIMA DISPONIBILIDAD	UTILIZACION	DISPONIBILIDAD ACTUAL
MACHETERO A	100%	2.32 %	97.68 %
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 B	100%	2.26 %	97.74 %
MACHETERO B	100%	2.31 %	97.69 %
BUSTER A	100%	2.40 %	97.60 %
FIBERIZER A	100%	2.50 %	97.50 %
BUSTER B	100%	2.76 %	97.24 %
FIBERIZER B	100%	2.84 %	97.16 %

Fuente. Elaboración propia en Promodel

Las maquinas con mayor tasa de incidencia de Lavaderos fueron simuladas con un margen de error (con valor absoluto), la cual se obtiene al ejecutar la operación matemática siguiente cálculo real en Microsoft Excel – calculo con simulación, como muestra los datos en la tabla N° 38.

EQUIPOS	CALCULO REAL EN EXCEL	CALCULO PROMODEL	PORCENTAJE DE ERROR (CON VALOR ABSOLUTO)
MACHETERO A	97.55%	97.68 %	0.13%
CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 B	97.49%	97.74 %	0.25%
MACHETERO B	97.44%	97.69 %	0.25%
BUSTER A	97.33%	97.60 %	0.27%
FIBERIZER A	97.23%	97.50 %	0.27%
BUSTER B	96.94%	97.24 %	0.30%
FIBERIZER B	96.84%	97.16 %	0.32%

Fuente. Elaboración propia en Promodel

Por consiguiente, se realiza una apreciación dando como resultado el valor erróneo máximo es de 0.32 %, lo que envuelve un nivel confianza del 99.68% de la información simuladas tendrán un impacto en la realidad

3.4 Incidencia De La Disponibilidad En Los Equipos Tras La Simulación En Promodel

Tras la simulación, se logra visualizar y analizar a profundidad que la propuesta de la implementación del plan de mantenimiento, brindará resultados exitosos para el ingenio azucarero.



Figura 21. Disponibilidad - Promodel

Fuente. Tabla N° 37

Datos expuestos se encuentran enlazados en la simulación del software el cual son exportados, para mostrarnos que el promedio de disponibilidad de los equipos del área de Lavaderos es igual a 76.83%

Tras la propuesta de implementación del mantenimiento del estudio de vibraciones, continuamos a simular el periodo para el trimestre siguiente, para evidenciar en que magnitud impacta la propuesta de mejora de las maquinas del ingenio.

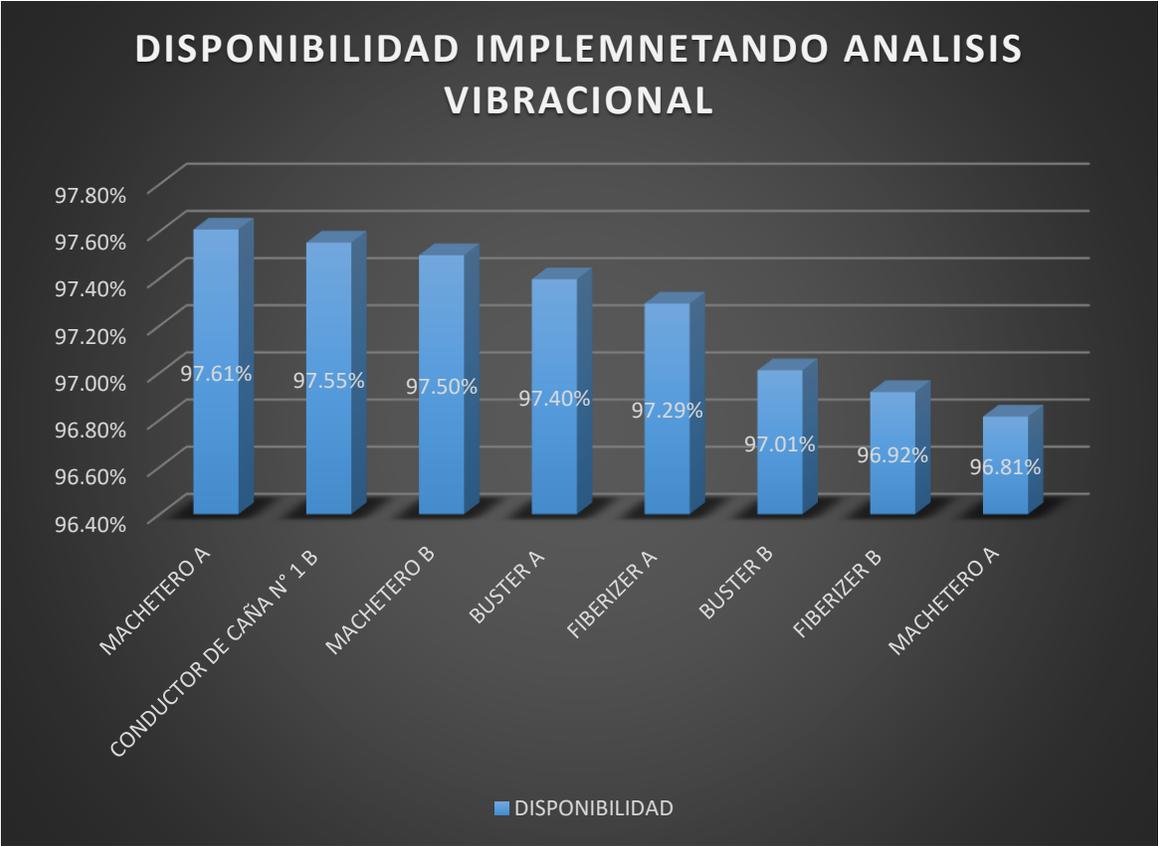


Figura 22. Disponibilidad Mejorada - según Promodel

Teniendo como resultados de las dos simulaciones se analiza la influencia que tiene el análisis vibracional, por lo que este gráfico compara la diferencia el cual se obtiene 20.43% de disponibilidad, resultado beneficioso para el ingenio, la comparación de los dos resultados de simulaciones se muestra en la figura N° 23

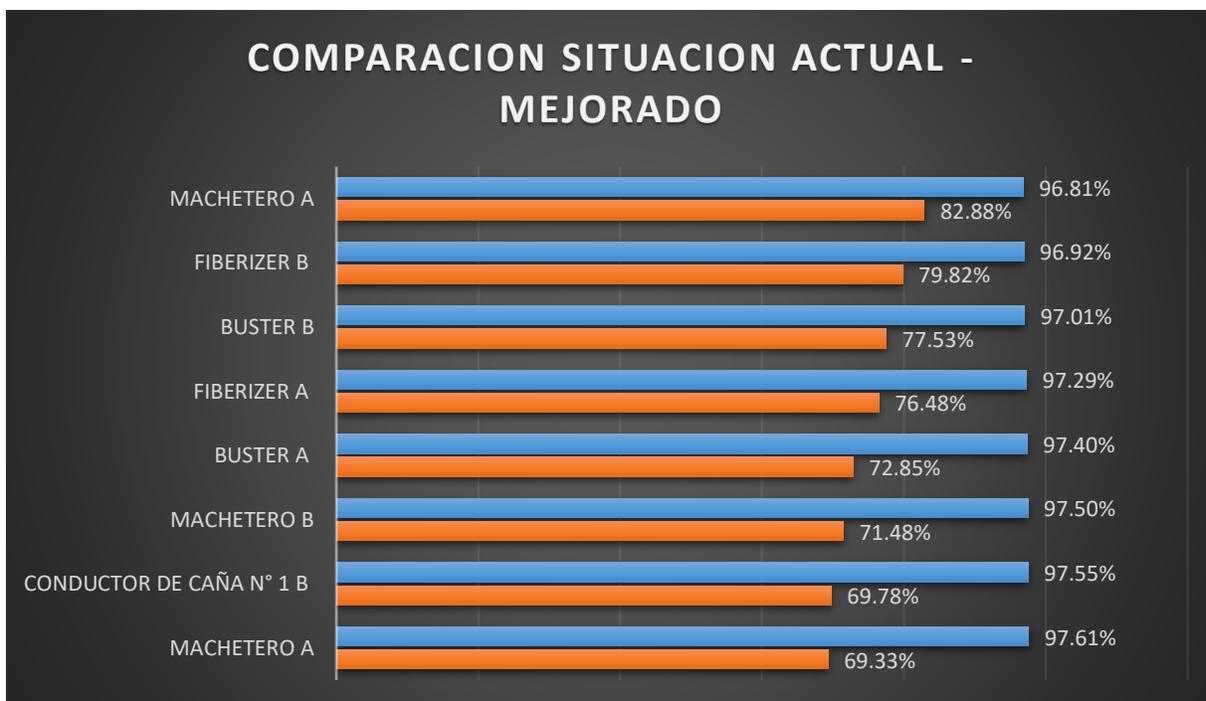


Figura 23. Comparación de situación actual - mejorado

3.5 Factibilidad Económica

3.5.1 Costo Para El Mantenimiento De Los Equipos

Para realizar la propuesta se realiza un coste de las actividades por parte del área de mantenimiento el cual se apoyó en los colaboradores, por lo que se detalla en la tabla N° 39.

Tabla 38. Costo de mantenimiento

DESCRIPCIÓN	COSTOS POR MANTENIMIENTO (SOLES/TRIMESTRAL)
Total por materiales	S/.1205.97
Total por servicios	S/.1,910.00
TOTAL	S/.3,155.97

3.5.2 Inversiones Para La Propuesta De Mejora

Para poder elevar nuestra propuesta presentamos la tabla N° 40, se necesitan inversiones en el área de lavaderos.

Tabla 39. Inversión para el Análisis vibracional

ACTIVOS FIJOS	VALOR TOTAL SOLES
Inversión necesaria para garantizar la calidad de materia prima (Accesorios, repuestos e insumos de producción)	S/.5,730.50
Inversión para minimizar los tiempos perdidos. (Planes de mantenimiento)	S/.3,155.97
Inversión por cambio de activos.	S/.5,360.03
Costo Total	S/.14,246.50

3.5.3 Costos De Producción

Por cada minuto que invierte el ingenio azucarero en arreglar una falla mecánica, eléctrica u operacional la empresa tiene pérdida de dinero para la producción, considerando que no sea programado, las horas de demora en la producción son los tiempos para reparar (MTTR), para lo cual extraemos los datos de la frecuencia del primer trimestre los datos:

MTTR Actual: 418.7 horas de retraso según fuente (tabla N°10)

En la actualidad el costo de producción por hora de la empresa Azucarera es de S/.5,000.00 por hora por lo tanto tenemos que el costo trimestral del primer trimestre equivale a:

Tabla 40. Costos de pérdida primer Trimestre

CANT. DE HORAS TRIMESTRAL	COSTO DE PRODUCCIÓN POR HORA	PERDIDA TRIMESTRAL
418.7 Horas	S/.5,000.00/hora	S/.2,093,500.00

Fuente. Empresa Azucarera

Tras la implementación el costo de la producción en pérdida tiene una variación de mejora.

Tabla 41. Costos pérdidas segundo trimestre

CANT. DE HORAS TRIMESTRAL	COSTO DE PRODUCCIÓN POR HORA	PERDIDA TRIMESTRAL
102.83 Horas	S/.5,000.00/hora	S/.514,150.00

Fuente. Empresa Azucarera

En la tabla N° 25 y 26, verificamos que en el 1° trimestre la pérdida asciende a S/2,093,500.00 y en el siguiente es de S/.514,150.00 lo cual veremos plasmado en la siguiente figura N° 24

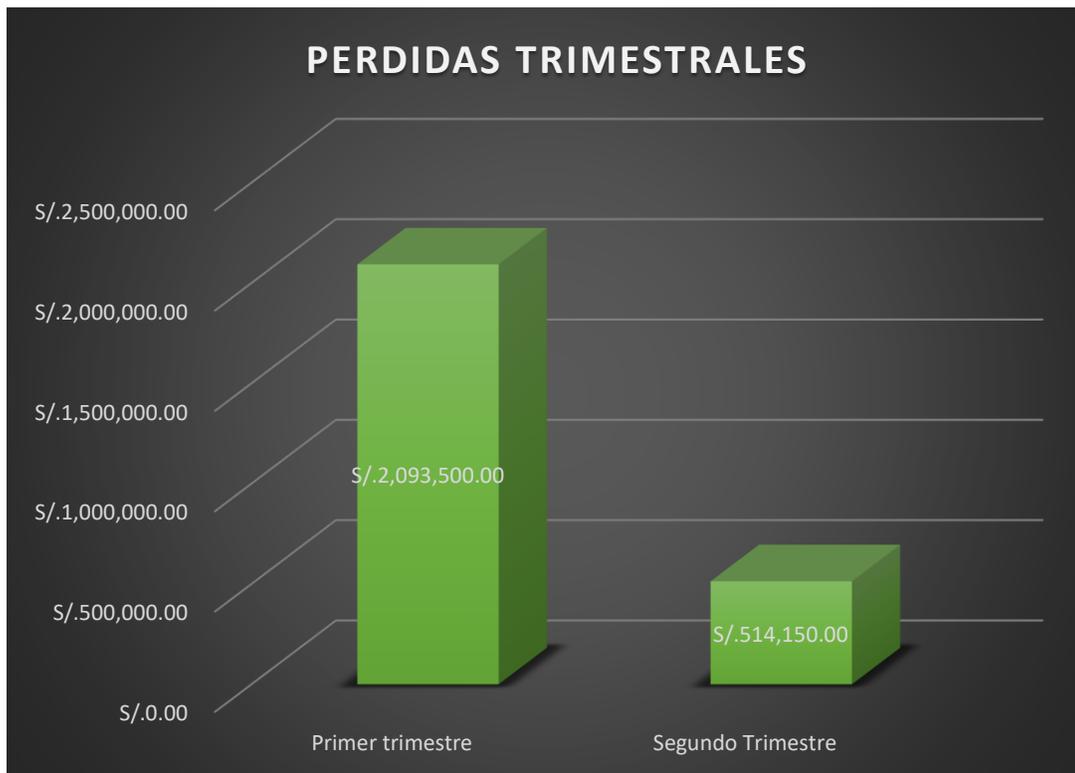


Figura 24. Costo de pérdida trimestral

Fuente. Elaboración Propia

Según la figura N° 24, se ve reflejado los costos incurridos por las fallas en la frecuencia dado que en el siguiente trimestre se logró minimizar estas pérdidas debido a la implementación del análisis vibracional, obteniendo una decrecentación en el costo de horas muertas en un total de S/ 1,579,350.00

3.5.4 Beneficio

El costo beneficio será centralizado en recuperar lo invertido en la implementación el cual estaría expresado de la siguiente manera, información extraída de la tabla N° 38, 39, 40, 41 y 42

Beneficio =	C pérdidas	-	C pérdidas	-	Costo de
	Producción actual		Producción de mejora		mantenimiento
Beneficio =	S/.2,093,500.00	-	S/.514,150.00	-	S/.3,155.97

Beneficio = 1, 576,194.03 Soles / Trimestral

3.5.5 Retorno Operacional De Inversión (R.O.I)

$$\text{R.O.I} = \frac{\text{INVERSION}}{\text{BENEFICO}}$$

$$\text{R.O.I} = \frac{\text{S/.14246.5}}{1, 576,194.03 \text{ Soles / Trimestral}}$$

$$\text{R.O.I} = 0.00903 \text{ años} = 0.10 \text{ meses}$$

El tiempo estimado para rescatar la inversión sería a 0.10 meses.

3.5.6 Comparación de la Disponibilidad a nivel inferencial.

3.5.7 Prueba De Normalidad

Disponibilidad de equipos.

H1: Los datos de la disponibilidad presentan un comportamiento normal

H0: Los datos de la disponibilidad no presentan un comportamiento normal

Supuestos:

$P \leq 0.05$ se aprueba H0

$p > 0.05$ se aprueba H1

Para realizar la prueba de normalidad se hizo con la herramienta estadística SPSS tomando los datos de la diferencia de la disponibilidad del antes y después de la implementación del análisis vibracional.

Tabla 42. Prueba de Normalidad

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,220	10	,187	,935	10	,495
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Fuente. : *Software SPSS VS 22*

Interpretación: Como son 8 datos se usa la prueba de normalidad de Shapiro –Wilk, el cual se usan para datos menores a 50, dando un valor $p = 0.495$ por lo cual se aprueba H1, por lo tanto, se debe utilizar una prueba paramétrica, T student.

Disponibilidad de Equipos:

H2: La implementación del plan de mantenimiento predictivo a través del análisis vibracional aumenta la disponibilidad de los equipos del área de lavaderos en la empresa Azucarera, en el año 2019

H0: La implementación del plan de mantenimiento predictivo a través del análisis vibracional no aumenta la disponibilidad de los equipos del área de lavaderos en la empresa Azucarera, en el año 2019

Supuestos

$P < 0.05$ se aprueba H2

$p \geq 0.05$ se aprueba H0

Tabla 43. Prueba estadística T- STUDENT

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	ANTES – DESPUES	- 8.15000	1.03038	0.32584	-8.88709	-7.41291	- 25.013	9	0.000

Fuente. : *Software SPSS VS 22*

Interpretación: Como el valor p de la prueba de T student da 0.000 se aprueba la hipótesis H2, que dice que la implementación del mantenimiento predictivo a través del análisis vibracional incrementa la disponibilidad de los equipos del área de lavaderos en la empresa Azucarera, en el año 2019.

IV. DISCUSIÓN

- 4.1.** Al evidenciar la disponibilidad actual de los equipos del área de Lavaderos, se pudo determinar 8 equipos críticos, registrando tiempos de paradas no deseadas o no planificadas, gracias a la toda la indagación obtenida se llegó a determinar la disponibilidad actual de la criticidad de los equipos, dando como resultado un 75.02%. El cálculo de la disponibilidad se definió, ejecutando ecuaciones que enlazan los indicadores de tiempo, tal como lo efectuó (ARÉVALO, 2012) en su tesis, obtuvo una disponibilidad de los 5 equipos de la línea de flotación del centro minero en un 99.8% La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionabilidad de un elemento. Es una medida extremadamente importante y útil en casos en los que el usuario tiene que tomar decisiones con respecto a la adquisición de un elemento entre varias posibilidades alternativas.
- 4.2.** Al realizar el análisis vibracional se logró detectar los modos de falla en los equipos del área de lavaderos, por lo que se elabora un plan de recolección de análisis vibracional a los equipos críticos, se logran evidenciar condiciones de Alerta, Emergencia y Normal, para lo cual se utiliza un equipo encargado de recolectar de datos el cual tiene por nombre SKF Microlog Analyzer serie GX - CMXA 75, no obstante para poder realizar el análisis utiliza un software SKF @plitude Analyst, este análisis logro identificar las fallas potenciales permitiendo elaborar un plan de acción para cada modo de falla de los componentes. (SKF, 2010) El análisis de vibraciones espectral es una herramienta ampliamente utilizada en el mantenimiento predictivo. Esta técnica tiene como objetivo identificar las principales frecuencias de excitación del sistema, relacionando estas frecuencias con el tipo de defecto que la máquina padece. Los defectos inherentes a la rotación de la máquina son presentados a través de las frecuencias de rotación y sus armónicos.

- 4.3.** Al realizar la simulación en el software ProModel 2016, tendremos los datos de la disponibilidad actual en el primer trimestre el cual correspondiente al mes de Junio a Agosto, esta simulación obtiene como resultado un margen de error con valor absoluto es equivalente a 1.83 % no obstante la simulación se realiza para el siguiente trimestre, esta simulación proporciona información cuantificada del margen de error con valor absoluto es igual a 0.32%, lo que genera un nivel de confianza del 99.68%, Este programa es usado por (Renda, 2015) obteniendo resultados de la aplicación de simulación para integración de modelos de fabricación mediante simulación con herramientas informáticas y lean manufacturing, demuestra la elaboración de una metodología que sea capaz de analizar los comportamientos de sistemas productivos con herramientas informáticas de simulación basados en la simulación de eventos discretos comprometidos con la filosofía lean manufacturing y así lograr obtener un mecanismo de análisis para la toma de decisiones sin tener que ejecutar inversiones elevadas y garantizar con un margen de error pequeño los resultados ante los diferentes etapas planteadas. ProModel es un software informático capaz de modular y simular las operaciones obteniendo como datos los tiempos utilizados y perdidos en la operación estructurando de esta forma un margen de error enlazado con la realidad. (Promodel)
- 4.4.** Comparando los resultados de las dos situaciones de simulaciones en el Software ProModel se estudian el impacto que influyen el plan de mantenimiento de vibraciones, el cual tiene un aumento del 20.43% entre las frecuencias trimestrales obteniendo una disponibilidad de 97.26%, y decreción de costo por reparación en el segundo trimestre el cual asciende a un total de S/1,579,350.00 tras la implementación del análisis vibracional (Pasache Morales, 2017), implementando el analisis vibracional el cual obtuvo como resultados ncrementó la confiabilidad en 5%, pasando de 92% a 97%, por otro lado la disponibilidad de los equipos en base a los resultados obtenidos de un análisis de hipótesis de esta dimensión se logró alcanzar una mejoría que pasó de 91% a 98% es decir un aumento de 7%, asimismo se mejoró el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación.

V. CONCLUSIONES

- 5.1.** Se identificó que las maquinas con estado de criticidad alta en el área de lavaderos, se evidencio que ocho equipos industriales presentan mayor criticidad los cuales son: Machetero A, Conductor 1B, Machetero B, Buster A, Fiberizer A, Buster B, Fiberizer B, Conductor de Caña N° 2 A. los datos obtenidos se analizaron minuciosamente el cual se tuvo el adecuado criterio a la hora de establecer los principales modos de fallas de estos equipos. Se hallaron las cantidades de fallas que sucedieron durante el primer trimestre Junio a Agosto, las cuales son equivalentes a un total 81. Se calculó que tiempo entre fallas fue de 1228.75 horas, el tiempo de reparaciones fue de 418.7 horas, por ello se determinó que porcentaje de disponibilidad de los equipos industriales en el periodo del primer trimestre de Junio a Agosto fue de 75%.
- 5.2.** Se empleó el análisis vibracional para lograr detectar los modos de falla en los equipos del área de lavaderos, por lo que se elaboró un plan de recolección de análisis vibracional a los equipos críticos, el cual se logran evidenciar condiciones de Alerta, Emergencia y Normal, para lo cual se utiliza un equipo encargado de recolectar de datos el cual tiene por nombre SKF Microlog Analyzer serie GX - CMXA 75, no obstante para poder realizar el análisis utiliza un software SKF @ptitude Analyst, este análisis logro identificar las fallas potenciales permitiendo elaborar un plan de acción para cada modo de falla de los componentes.
- 5.3.** Se utilizó el software ProModel 2016 para realizar la simulación de la disponibilidad de los equipos críticos para los 8 equipos (Machetero A, Conductor 1B, Machetero B, Buster A, Fiberizer A, Buster B, Fiberizer B, Conductor de Caña N° 2 A.) el cual se obtuvo una disponibilidad de 72.57%, el resultado de la simulación nos brinda datos de una manera ordenada constatando que el valor máximo de índice de error con valor absoluto es equivalente a 1.83% lo cual es un valor cercano a la realidad.

5.4. Comparando los parámetros de simulación del primer trimestre Junio a Agosto y segundo trimestre de Setiembre a Noviembre del 2019, lo cual se evidencio un aumento de disponibilidad de 20.43%, con la propuesta de mejora del mantenimiento predictivo por análisis vibracional se identificó que la disponibilidad operacional de las maquinas industriales equivale al 97.26%, confiabilidad un 95.06%, mantenibilidad un 82.42% y una reducción de costos por reparación en el trimestre siguiente el cual asciende a S/.1,579,350.00.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. Realizar todas las actividades que contiene el plan mantenimiento predictivo por análisis vibracional a todos los modos de fallas de los quipos de preparación y molienda, cumpliendo estrictamente con el plan acción obtenido del recolector de datos.
- 6.2. El mantenimiento predictivo y particularmente la medición de vibraciones es uno de los mejores y más probados métodos para conocer la condición real de su maquinaria. El cual permite realizar un seguimiento de su estado a lo largo del tiempo y le permite planificar y programar posibles reparaciones de la máquina. Sin embargo, no es posible controlar el 100% de los modos de fallo y algunas averías pueden aparecer inesperadamente por lo que se recomienda conocer su equipo de una manera paulatina.
- 6.3. El cuidado y monitoreo de la maquinaria rotativa requiere de una adecuada utilización de las diferentes técnicas del mantenimiento predictivo. La presente tesis abarca los diferentes aspectos para la utilización de la técnica del análisis vibracional en la implementación del mantenimiento predictivo. El análisis de vibraciones permite la presentación de recomendaciones adecuadas y oportunas, necesarias e imprescindibles para la toma de decisiones respecto a la maquinaria rotativa el cual servirá a los futuros investigadores.
- 6.4. La capacitaciones al personal de mantenimiento en las técnicas predictivas es de carácter indispensable para el apoyo de las tareas encomendadas en los monitoreos el cual servirá de gran aporte en las frecuencias del análisis de vibraciones generando confiabilidad en la planta.

Bibliografía

- ACEVEDO, A. M. (2012). *MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO*. Tesis Profesional, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA . Obtenido de [http://oilproduction.net/files/Mantenimiento%20Basado%20en%20Condic%C3%B3n%20\(MBC\).pdf](http://oilproduction.net/files/Mantenimiento%20Basado%20en%20Condic%C3%B3n%20(MBC).pdf)
- ARÉVALO, G. B. (2012). *EL ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD COMO HERRAMIENTA PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE FLOTACIÓN EN UN CENTRO MINERO*. Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Lima. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1475/1/becerra_ag.pdf
- AUDITADOS. (Enero de 2015). *Bolsa de Valores Lima*. Obtenido de Bolsa de Valores Lima: <https://www.bvl.com.pe/hhii/B08361/20160301194201/CASA32GRANDE32MEMORIA322015.PDF>
- AUDITADOS. (Enero de 2016). *Bolsa de Valores Lima*. Obtenido de Bolsa de Valores Lima: <https://www.bvl.com.pe/hhii/B08361/20170313190601/CASA32GRANDE32MEMORIA322016.PDF>
- AUDITADOS. (Enero de 2017). *Bolsa de Valores Lima*. Obtenido de Bolsa de Valores Lima: <https://www.bvl.com.pe/hhii/B08361/20180223222901/CASA32GRANDE32MEMORIA32201732.PDF>
- AUDITADOS. (Enero de 2018). *Bolsa de Valores Lima*. Obtenido de Bolsa de Valores Lima: <https://www.bvl.com.pe/hhii/B08361/20190228234101/CASA32GRANDE32MEMORIA322018.PDF>
- DÍAZ, M. P. (1999). *Las Vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo*. Caracas, Venezuela: León S.R.L. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=EdS212BLRdkC&pg=PA11&dq=mantenimiento+predictivo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8oazP0bDiAhVRmVkkHUNKC54Q6AEIMDAC#v=onepage&q=mantenimiento%20predictivo&f=false>
- GÓMEZ DE LEÓN, F. C. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial* (Vol. II). Murcia, España. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=bOrFC3532MEC&printsec=frontcover&dq=mantenimiento&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiJ96WfzKviAhV0tlkKHYUC2kQ6AEIJzAA#v=onepage&q=mantenimiento&f=false>
- GONZALEZ, J. J. (2016). *Mantenimiento Preventivo de Equipos y Procesos de plantas de tratamiento de agua y plantas depuradoras* (Vol. 5). España. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=wcZWDwAAQBAJ&pg=PA83&dq=mantenimiento+preventivo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjsiKaSxrDiAhUPpFkKHbLnDSEQ6AEITjAl#v=onepage&q&f=false>

- HERNÁNDEZ, M. A. (2013). *PROYECTO EN MONITOREO DE CONDICIONES PARA*. Tesis profesional, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, SANTIAGO DE CHILE. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115019/cf-riquelme_mh.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- JASSO, A. C. (2011). *“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA*. Universidad Tecnológica de Tula Tepeji, Ciudad de México. Obtenido de <http://www.utt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/63A.pdf>
- MOSCONI, J. M. (2015). *Mantenimiento Correctivo de Electrodomésticos de gama Industrial* (Vol. 5). Madrid, España: ELEARNING S.L. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=_vA-DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=mantenimiento+correctivo+en+la+industria&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjGujT9oa7iAhVDw1kKHS4pAIsQ6AEIJzAA#v=onepage&q=mantenimiento%20correctivo%20en%20la%20industria&f=false
- MOSQUERA, G. (2015). *Las Vibraciones Mecánicas y su aplicación al mantenimiento Predictivo*. Caracas, Venezuela: Graficas León S.R.L. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=EdS212BLRdkC&pg=PA11&dq=mantenimiento+predictivo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8oazP0bDiAhVRmVkkKHUNKC54Q6AEIMDAC#v=onepage&q=mantenimiento%20predictivo&f=false>
- PARRA, S. R. (2016). *DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL VEHÍCULO HIDROCLEANER VACTOR M654 DE LA EMPRESA ETAPA EP*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4749/1/20T00717.pdf>
- SANTIAGO, G. G. (2010). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S. A. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=PUovBdLi-oMC&printsec=frontcover&dq=mantenimiento+industrial+pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjGy7D4m67iAhXwuFkKHQ9HDNIQ6AEITzAH#v=onepage&q&f=false>
- SKF. (2010). *SKF SERVICIOS*. Obtenido de <https://www.skf.com/ar/services/simulacion-y-diagnostico-avanzado/analisis-de-vibracion/index.html>
- TRUJILLO, G. (2017). *Diplomado de análisis de lubricante*. Ciudad de México. Obtenido de <http://noria.mx/noria/contacto/>
- VILLANUEVA, E. D. (2006). *Un enfoque analítico del mantenimiento industrial*. (CECSA, Ed.) Barcelona, España. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=-BtcAwAACAAJ&dq=tipos+de+mantenimiento+predictivo&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiL86DAjIHIAhUrzlKkHSp_Ad44WhDoAQgtMAE

ANEXOS

TABLAS

Tabla 45. AMEF - Conductor de Caña N° 3 A

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO (A.M.E.F) <input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS						 Planta de Producción de Azúcar Fecha:				
AREA:		PREPARACION DE CAÑA			Preparado por:					
DEPARTAMENTO:		LAVADEROS			Revisado por:					
EQUIPO:		CONDUCTOR DE CAÑA N° 3 A			Aprobado O.T.:					
Descripción del proceso	Falla Funcional	Modo de Fallas	Efecto de las fallas	Consecuencia	Causas de las fallas	N° AMEF:				Acciones Proactivas
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	
Transportar la caña picada hacia el buster para ser desfibrada	Materia extraña	Descarrilamiento de cadenas	Al salir de su carril provoca una tensión en el sprockets, parando al equipo	Mecánicas	Partes de caña en el sprockets	6	6	5	180	Alineamiento de Sprockets
		Rotura de ejes	Al fragmentar el eje impide la operación y se debe parar el molino, esto afecta el proceso de Producción.	Mecánicas	Fisura, fatiga	3	4	5	60	Análisis Ultrasonido
	Disparo de protección de motor eléctrico	Caída de tensión	El motor eléctrico se bloquea y deja de trabajar logrando paralizar la alimentación de las masas.	Eléctricas	Sobrecarga y desgaste de rodamientos	5	4	4	80	Realizar mediciones de temperaturas por termografía.
	Excesiva carga	Caña atrapada en los arrastradores	Rotura de arrastradores	Operativas	atoro de caña	4	3	5	60	Capacitar al personal sobre los parámetros de producción.

Tabla 46. AMEF - Conductor de Caña N°5B

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO (A.M.E.F)						SKF				
<input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS						Planta de Producción de Azúcar				
						Fecha:				
AREA:	PREPARACION DE CAÑA					Preparado por:				
DEPARTAMENTO:	LAVADEROS					Revisado por:				
EQUIPO:	CONDUCTOR DE CAÑA Nº 5 B					Aprobado O.T.:				
Descripción del proceso	Falla Funcional	Modo de Fallas	Efecto de las fallas	Consecuencia	Causas de las fallas	Nº AMEF:				Acciones Proactivas
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	
Transportar la caña convertida en bagazo hacia los molinos de extracción	Deterioro de faja de transportador	Falla chumacera en	Eleve la vibración, lo cual ocasiona daños en sus componentes y puede ocasionar un corrimiento en el eje lo que imposibilita su operación y con esto afecta el proceso de producción.	Mecánicas	Soltura mecánica, atoro y desgaste	6	4	5	120	Establecer frecuencias de los análisis de vibraciones.
		Uniformidad de bandas de	Al no ser uniforme la banda ocasiona deterioro de la misma provocando rozamientos con las paredes del conductor y/o polines autoalineantes	Mecánicas	Atoro de caña	6	4	5	120	Alineamiento de bandas
	Exceso de carga de caña desfibrada	Desbalance de polines de	Salida de bagazo del conductor	Operativa	Atoro de bagazo	4	2	4	32	Capacitar al personal sobre los parámetros de producción
	Disparo de protección de motor eléctrico	Caída de tensión	El motor eléctrico se bloquea y deja de trabajar logrando paralizar la alimentación de las masas	Eléctricas	Sobrecarga y desgaste de rodamientos	6	3	5	90	Realizar mediciones de temperaturas por termografía.

Tabla 47. AMEF – Conductor de Caña N° 6 B

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO (A.M.E.F)						SKF				
<input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS						Planta de Producción de Azúcar				
						Fecha:				
AREA:	PREPARACIÓN DE CANA					Preparado por:				
DEPARTAMENTO:	LAVADEROS					Revisado por:				
EQUIPO:	CONDUCTOR DE CAÑA N° 6 B					Aprobado O.T.:				
Descripción del proceso	Falla Funcional	Modo de Fallas	Efecto de las fallas	Consecuencia	Causas de las fallas	N° AMEF:				Acciones Proactivas
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	
Transportar la caña convertida en bagazo hacia los molinos de extracción	Deterioro de faja de transportador	Falla en chumacera	Eleva la vibración, lo cual ocasiona daños en sus componentes y puede ocasionar un corrimiento en el eje lo que imposibilita su operación y con esto afecta el proceso de producción.	Mecánicas	Soltura mecánica, atoro y desgaste	6	4	4	96	Establecer frecuencias de los análisis de vibraciones.
		Uniformidad de bandas	Al no ser uniforme la banda ocasiona deterioro de la misma provocando rozamientos con las paredes del conductor y/o polines autoalineantes	Mecánicas	Atoro de caña	5	4	4	80	Alineamiento de bandas
	Exceso de carga de caña desfibrada	Desbalance de polines	Salida de bagazo del conductor	Operativa	Atoro de bagazo	4	2	3	24	Capacitar al personal sobre los parámetros de producción
	Disparo de protección de motor eléctrico	Caída de tensión	El motor eléctrico se bloquea y deja de trabajar logrando paralizar la alimentación de las masas	Eléctricas	Sobrecarga y desgaste de rodamientos	6	4	5	120	Realizar mediciones de temperaturas por termografía.

Tabla 48. AMEF - Conductor de Caña N° 1 A

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO (A.M.E.F)										
<input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS						Planta de Producción de Azúcar				
						Fecha:				
AREA:	PREPARACIÓN DE CAÑA					Preparado por:				
DEPARTAMENTO:	LAVADEROS					Revisado por:				
EQUIPO:	CONDUCTOR DE CAÑA N° 1 A					Aprobado O.T.:				
Descripción del proceso	Falla Funcional	Modo de Fallas	Efecto de las fallas	Consecuencia	Causas de las fallas	N° AMEF:				Acciones Proactivas
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	
Transportar la caña entera para ser picada en el machetero	Materia extraña	Descarrilamiento de cadenas	Al salir de su carril provoca una tensión en el sprockets, parando al equipo	Mecánicas	Partes de caña en el sprockets	6	6	4	144	Alineamiento de Sprockets
		Rotura de ejes	Al fragmentar el eje impide la operación y se debe parar el molino, esto afecta el proceso de Producción.	Mecánicas	Fisura, fatiga	2	4	6	48	Análisis Ultrasonido
	Disparo de protección de motor eléctrico	Caída de tensión	El motor eléctrico se bloquea y deja de trabajar logrando paralizar la alimentación de las masas.	Eléctricas	Sobrecarga y desgaste de rodamientos	5	2	5	50	Realizar mediciones de temperaturas por termografía.
	Excesiva carga	Caña atrapada en los arrastradores	Rotura de arrastradores	Operativas	atoro de caña	4	4	6	144	Capacitar al personal sobre los parámetros de producción.

Tabla 49. AMEF - Conductor de caña 4B

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO (A.M.E.F)										
<input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS						Planta de Producción de Azúcar				
						Fecha:				
AREA:	PREPARACION DE CANA					Preparado por:				
DEPARTAMENTO:	LAVADEROS					Revisado por:				
EQUIPO:	CONDUCTOR DE CAÑA Nº 4 B					Aprobado O.T.:				
Descripción del proceso	Falla Funcional	Modo de Fallas	Efecto de las fallas	Consecuencia	Causas de las fallas	Nº AMEF:				Acciones Proactivas
						Gravedad	Ocurrencia	Detección	IPR	
Transportar la caña convertida en bagazo hacia los molinos de extracción	Deterioro de faja de transportador	Falla en chumacera	Eleva la vibración, lo cual ocasiona daños en sus componentes y puede ocasionar un corrimiento en el eje lo que imposibilita su operación y con esto afecta el proceso de producción.	Mecánicas	Soltura mecánica, atoro y desgaste	6	3	5	90	Establecer frecuencias de los análisis de vibraciones.
		Uniformidad de bandas	Al no ser uniforme la banda ocasiona deterioro de la misma provocando rozamientos con las paredes del conductor y/o polines autoalineantes	Mecánicas	Atoro de caña	6	4	5	120	Alineamiento de bandas
	Exceso de carga de caña desfibrada	Desbalance de polines	Salida de bagazo del conductor	Operativa	Atoro de bagazo	4	4	4	64	Capacitar al personal sobre los parámetros de producción
	Disparo de protección de motor eléctrico	Caída de tensión	El motor eléctrico se bloquea y deja de trabajar logrando paralizar la alimentación de las masas	Eléctricas	Sobrecarga y desgaste de rodamientos	6	4	5	120	Realizar mediciones de temperaturas por termografía.

Tabla 50. AMEF - Conductor de Caña N° 6A

ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLO (A.M.E.F)										
<input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS						Planta de Producción de Azúcar				
						Fecha:				
AREA:	PREPARACIÓN DE CANA					Preparado por:				
DEPARTAMENTO:	LAVADEROS					Revisado por:				
EQUIPO:	CONDUCTOR DE CAÑA N° 6 A					Aprobado O.T.:				
Descripción del proceso	Falla Funcional	Modo de Fallas	Efecto de las fallas	Consecuencia	Causas de las fallas	N° AMEF:				Acciones Proactivas
						Gravedad	Ocurriencia	Detección	IPR	
Transportar la caña convertida en bagazo hacia los molinos de extracción	Deterioro de faja de transportador	Falla chumacera en	Eleva la vibración, lo cual ocasiona daños en sus componentes y puede ocasionar un corrimiento en el eje lo que imposibilita su operación y con esto afecta el proceso de producción.	Mecánicas	Soltura mecánica, atoro y desgaste	5	4	6	120	Establecer frecuencias de los análisis de vibraciones.
		Uniformidad de bandas de	Al no ser uniforme la banda ocasiona deterioro de la misma provocando rozamientos con las paredes del conductor y/o polines autoalineantes	Mecánicas	Atoro de caña	5	5	4	100	Alineamiento de bandas
	Exceso de carga de caña desfibrada	Desbalance de polines de	Salida de bagazo del conductor	Operativa	Atoro de bagazo	4	2	3	24	Capacitar al personal sobre los parámetros de producción
	Disparo de protección de motor eléctrico	Caída de tensión	El motor eléctrico se bloquea y deja de trabajar logrando paralizar la alimentación de las masas	Eléctricas	Sobrecarga y desgaste de rodamientos	6	4	5	120	Realizar mediciones de temperaturas por termografía.

Tabla 51. Índice de Gravedad

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy baja (Repercusiones imperceptibles)	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente el cliente no se daría cuenta del fallo	1
Baja (Repercusiones irrelevantes)	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente esté observando un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia de fácil subsanación	2 - 3
Moderada (Defectos de relativa importancia)	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente, El empresario observa deterioro en el rendimiento del sistema	4 - 6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7 - 8
Muy alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso e involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias	9 - 10

Tabla 52. Índice de Frecuencia

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible. Una ocurrencia en más de cinco años, o en 1 de 10000 eventos.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda. Una ocurrencia entre 3 y 5 años.	2 - 3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente, una ocurrencia por año, una cada seis meses, una cada tres meses.	4 - 6
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado. Una ocurrencia por mes, una ocurrencia por semana.	7 - 8
Muy alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente una, ocurrencia cada tres o cuatro días/más de una ocurrencia por día.	9 - 10

Tabla 53. Índice de Detención

DETENCION	CRITERIO	VALOR
Muy alta	El defecto es evidente. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto, aunque es evidente y sencillo detectar, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad.	2 - 3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estados de producción.	4 - 6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7 - 8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9 - 10

Tabla 54. Promedio IPR

IPR	ACCIONES
500 – 1000	Alto riesgo de falla.
125 – 499	Riesgo de falla medio o normal.
1 – 124	Bajo riesgo de falla.

Tabla 55. Formato de disponibilidad de equipos

DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS									
EQUIPOS	T.T.R (Horas)	TBF (Horas)	MTRR (Horas/Fallas)	μ (Fallas / Horas)	MTBF (Horas/Fallas)	Λ (Fallas / Horas)	Disponibilidad (%)	Confiabilidad (%)	Mantenibilidad (%)
PROMEDIO (%)									

Tabla 56. Activos del Área de Lavaderos

ACCESORIOS PARA ASEGURAR LA CALIDAD MATERIA PRIMA	CANT.	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
ATRAPADOR DE METALES	1	2525.5	S/.2,525.50
Válvulas Electro Neumáticas	4	751.25	S/.30,015.00
TOTAL			S/.32,540.50
PLAN DE MANTENIMIENTO	CANT.	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIALES	1	S/.1,205.97	S/.1,205.97
SERVICIO	1	S/.1,910.00	S/.1,910.00
TOTAL			S/.3,115.97
CAMBIO DE EQUIPOS	CANT.	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
MOTOR ELECTRICOS	3	854.09	S/.2,572.27
REDUCTORES MULTIPLES	2	620.32	S/.1,240.64
ACOPLAMIENTOS	4	105.82	S/.523.28
BOMBAS	2	626.92	S/.1,253.84
TOTAL			S/.5,590.03
COSTO TOAL			S/.41,246.50

Tabla 57. Reporte de Vibraciones Buster A

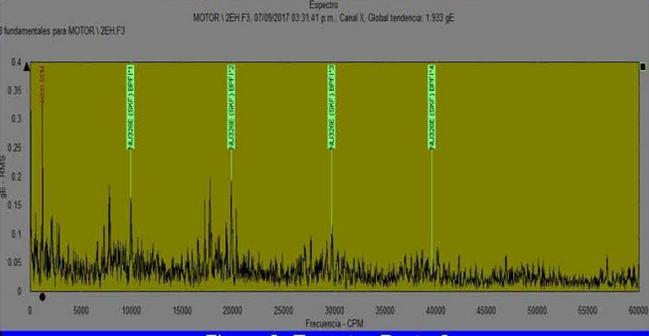
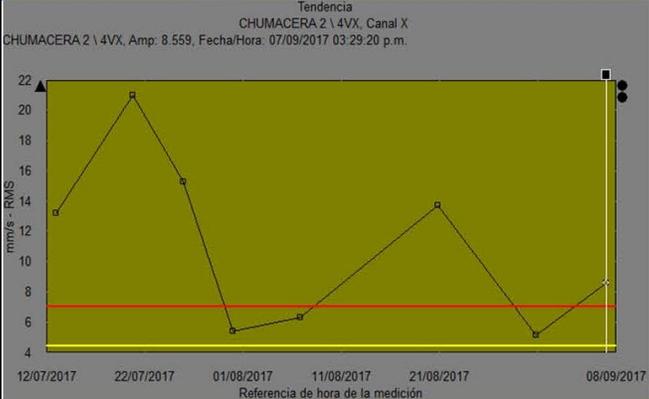
REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL - N°			
PARA			
DE		Jenns Leyva	
REVISADO POR			
FECHA DE MONITOREO			
FECHA DE ENTREGA DE REPORTE			
Reporte de Servicio		N° SERIE	DESCRIPCIÓN
N°			BUSTER A
			ÁREA
			LAVADERO
			ZONA A
CONDICIONES	ESTADO	VALOR MÁXIMO DE VIBRACIÓN	
CONDICIÓN ACTUAL	ALARMA	8.50	mm/s
CONDICIÓN ANTERIOR	ALARMA	13.70	mm/s
DIAGNÓSTICO		SOLTURA MECÁNICA	
<p>MOTOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Se observa excitación de frecuencia de falla de la pista interior BPFI en el rodamiento lado acople. <p>CHUMACERAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Se aprecia una gran amplitud de vibración a consecuencia del desbalance dinámico del rotor del buster al 1X conjuntamente con múltiplos armónicos de frecuencia debido a la soltura mecánica. Según norma ISO 10816-3 su condición operativa es ALARMA. 			
VALORES GLOBALES POR PUNTO DE MEDIDA			
MOTOR ELECTRICO			
Medida	Punto 1	Punto 2	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	3.70	2.60	Punto 1
Envolvente - F3 (gE)	0.1	1.90	
Vertical (mm/s)	1.20	0.90	Punto 2
Axial (mm/s)	0.40	0.60	
CHUMACERAS			
Medida	Punto 3	Punto 4	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	6.90	8.00	Punto 3
Envolvente - F3 (gE)	1.4	3.5	
Vertical (mm/s)	5.60	6.80	Punto 4
Axial (mm/s)	8.60	8.50	
RECOMENDACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Verificar el ajuste de toda la pernería del conjunto máquina, incluyendo tapa de chumaceras, placa estructural. ❖ Verificar el ajuste axial del rodamiento de la chumacera lado libre del rotor (punto 4) ya que este punto refleja demasiado desplazamiento. ❖ El personal de SKF continuara con el monitoreo del equipo en mención. 			
		ESQUEMAS Y FIGURAS	
		 <p>Figura 1: IMAGEN DEL EQUIPO</p>	
		 <p>Figura 2: Espectro Punto 2</p>	
		 <p>Figura 3: Tendencia</p>	

Tabla 58. Reporte de Vibraciones Buster B

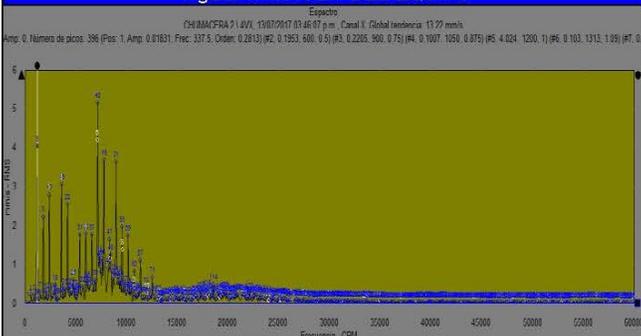
REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL - N°			
PARA			
DE		Jenns Leyva	
REVISADO POR		- Liderde contrato SKF - C.G.	
FECHA DE MONITOREO			
FECHA DE ENTREGA DE REPORTE			
Reporte de Servicio		N° SERIE	DESCRIPCIÓN
N°			BUSTER B
			ÁREA
			LAVADEROS
			ZONA B
CONDICIONES	ESTADO	VALOR MÁXIMO DE VIBRACIÓN	
CONDICIÓN ACTUAL	ALARMA	13.20	mm/s
CONDICIÓN ANTERIOR	ALARMA	13.70	mm/s
DIAGNÓSTICO	DESBALANCE		
<p>MOTOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Presenta vibración inducida por el rotor a la primera armónica de frecuencia 1X con múltiplos armónicos síncronos, su condición es de ALERTA. <p>CHUMACERAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Se aprecia una gran amplitud de vibración a consecuencia del desbalance dinámico del rotor del buster al 1X conjuntamente con múltiplos armónicos de frecuencia debido a la soltura mecánica. Según norma ISO 10816-3 su condición operativa es ALARMA. 			
VALORES GLOBALES POR PUNTO DE MEDIDA			
MOTOR ELECTRICO			
Medida	Punto 1	Punto 2	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	5.00	5.90	Punto 1
Envolvente - F3 (gE)	0.1	0.60	
Vertical (mm/s)	4.00	2.40	Punto 2
Axial (mm/s)	2.00	2.90	
CHUMACERAS			
Medida	Punto 3	Punto 4	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	8.00	8.00	Punto 3
Envolvente - F3 (gE)	1.1	0.8	
Vertical (mm/s)	7.00	6.00	Punto 4
Axial (mm/s)	10.40	13.20	
RECOMENDACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> Verificar el ajuste de toda la pernería del conjunto máquina, incluyendo tapa de chumaceras, placa estructural. Verificar el juego radial en los rodamientos y holguras axiales de las chumaceras. Realizar el pesaje homogéneo de los martillos utilizados. Balancear el rotor. El personal de SKF continuara con el monitoreo del equipo en mención. 			
		ESQUEMAS Y FIGURAS	
			
		<p>Figura 1: IMAGEN DEL EQUIPO</p>	
			
		<p>Figura 2: Espectro de chumacera</p>	
			
		<p>Figura 3: Tendencia</p>	

Tabla 59. Reporte de Vibraciones Conductor de Caña N° 1B

REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL - SKF N° 5696			
PARA DE REVISADO POR		Jenns Leyva	
FECHA DE MONITOREO			
FECHA DE ENTREGA DE REPORTE			
Reporte de Servicio		N° SERIE	DESCRIPCIÓN
N°			ÁREA
		CONDUCTOR DE CAÑA 1B	LAVADERO
			ZONA B
CONDICIONES	ESTADO	VALOR MÁXIMO DE VIBRACIÓN	
CONDICIÓN ACTUAL	ALARMA	11.20	mm/s
DIAGNÓSTICO			
MOTOR: Se observa elevada vibración debido a la falta de rigidez del sistema predominando las frecuencias 750 CPM (Sprokert / cadena) y un ligero desbalance del acoplamiento 1300 CPM 1X (motor) siendo su condición de ALARMA .			
REDUCTOR: Se observa elevada vibración a consecuencia de la falta de rigidez, fisuramiento de la base del reductor, fisuramiento de la base de la chumacera lado transmisión, donde se muestra la frecuencia predominante de 750 CPM (frecuencia del reductor) lo que ocasiona el desgaste anticipados de los componentes internos del equipo. Siendo su condición de ALARMA .			
VALORES GLOBALES POR PUNTO DE MEDIDA			
MOTOR ELÉCTRICO			
Medida	Punto 1	Punto 2	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	10.90	9.59	Punto 1
Envolvente - F3 (gE)	0.14	0.19	Punto 2
Vertical (mm/s)	6.37	5.66	
Axial (mm/s)	2.47	3.99	
REDUCTOR			
Medida	Punto 3	Punto 4	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	8.90	4.63	Punto 3
Envolvente - F3 (gE)	0.49	0.6	Punto 4
Vertical (mm/s)	8.90	9.78	
Axial (mm/s)	3.73	3.49	
Medida	Punto 5	Punto 6	
Horizontal (mm/s)	5.96	6.82	Punto 5
Envolvente - F3 (gE)	0.53	0.65	Punto 6
Vertical (mm/s)	3.16	3.56	
Axial (mm/s)	2.05	2.93	
Medida	Punto 7	Punto 8	
Horizontal (mm/s)	6.14	8.39	Punto 7
Envolvente - F3 (gE)	0.45	0.48	Punto 8
Vertical (mm/s)	5.13	11.20	
Axial (mm/s)	2.62	3.80	
Medida	Punto 9	Punto 10	
Horizontal (mm/s)	6.15	10.31	Punto 9
Envolvente - F3 (gE)	0.25	0.42	Punto 10
Vertical (mm/s)	6.01	9.93	
Axial (mm/s)	3.46	3.61	



Figura 1: IMAGEN DEL EQUIPO



Figura 2: ESPECTRO

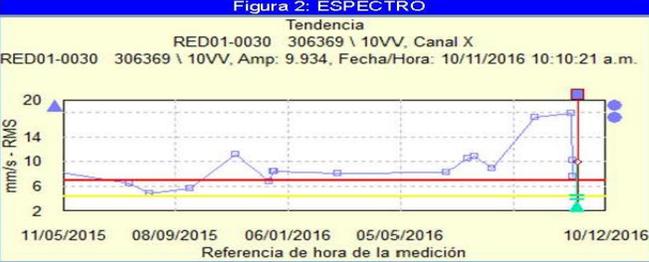


Figura 3: TENDECIA



Figura 4: Estructura de la base del equipo.



Figura 5: Cadenas de transportadora



Figura 6: Estructuras fisuradas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- * Reparar las fisuras en la base del reductor y en la chumacera del lado transmisión (la base actual es muy débil por múltiples reparaciones).
- * Revisar el alineamiento de la transmisión de la cadena, lubricación continua y estado de la misma.
- * Revisar el estado del alojamiento interno de la catalina de transmisión del reductor (juego excesivo de la chaveta y catalina).
- * Revisar el correcto alineamiento de las chumaceras de la cadena de transportadora (se aprecia incorrecto tensado de cadena)
- * Instalar refuerzo en la viga (base del reductor).
- * Proporcionar plano, catálogos, información técnica del reductor para mejorar los diagnósticos de cada componente del equipo.
- * Cabe resaltar que se han reparado algunas fisuras y reforzó la base, con lo cual se aminoró la vibración global lo que se muestra en el gráfico de tendencia
- * SKF continuará con las inspecciones periódicas programas con el fin de evaluar la evolución de la falla.

Tabla 60. Reporte de Vibraciones Fiberizer A

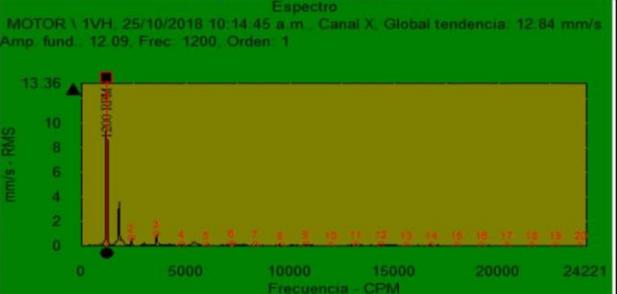
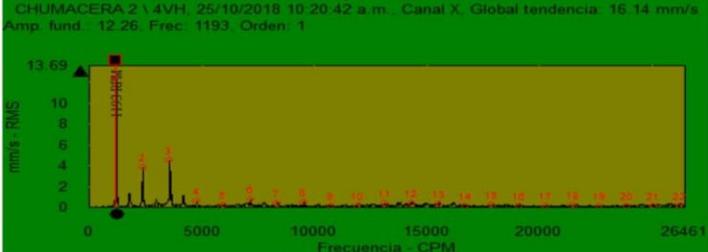
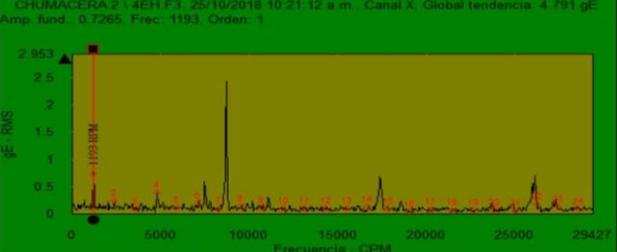
REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL - N°			
PARA			
DE		Jenns Leyva	
REVISADO POR			
FECHA DE MONITOREO			
FECHA DE ENTREGA DE REPORTE			
Reporte de Servicio		N° SERIE	DESCRIPCIÓN
			FIBERIZER A
			ÁREA
			LAVADEROS
			ZONA A
CONDICIONES	ESTADO	VALOR MÁXIMO DE VIBRACIÓN	
CONDICIÓN ANTERIOR	ALARMA	12.73	mm/s
CONDICIÓN ACTUAL	ALARMA	16.14	mm/s
DIAGNÓSTICO	SOLTURA MECÁNICA		
MOTOR:			
* Presenta una vibración elevada de 12.83 mm/s lo cual es inducida por la soltura mecánica, lo cual es amplificada por el desbalance residual que existe debida al peso no uniforme de los martillos.			
* Su condición según NORMA ISO 10816-3 es de ALARMA.			
CHUMACERAS:			
* El espectro 4VH (fig.3) muestra una vibración global de 16.14 mm/s , indicando desbalance residual producido por la no uniformidad del peso de los martillos (desgaste), amplificada por la soltura que predomina en el equipo.			
* Presenta el envolvente de aceleración elevado de 4.79 gE con múltiples armónicos, dicha condición es amplificada por los impactos de la sobrecarga no uniforme de los martillos en el rotor, induciendo soltura en los rodamientos.			
* Su condición según NORMA ISO 10816-3 es de ALARMA.			
VALORES GLOBALES POR PUNTO DE MEDIDA			
MOTOR ELECTRICO			
Medida	Punto 1	Punto 2	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	12.83	8.79	Punto 1
Envolvente - F3 (gE)	0.2	0.15	37.8
Vertical (mm/s)	1.96	3.79	Punto 2
Axial (mm/s)	3.53	5.09	30.3
CHUMACERAS			
Medida	Punto 3	Punto 4	Temp (°C)
Horizontal (mm/s)	9.75	16.14	Punto 3
Envolvente - F3 (gE)	4.63	4.79	73.7
Vertical (mm/s)	8.36	10.93	Punto 4
Axial (mm/s)	10.84	9.41	56.8
<p>Figura 1: IMAGEN DEL EQUIPO</p>  <p>Figura 2: Espectro Del Motor - 1VH</p> <p>Espectro MOTOR \ 1VH, 25/10/2018 10:14:45 a.m., Canal X, Global tendencia: 12.84 mm/s Amp fund. 12.09, Frec. 1200, Orden 1</p>  <p>Figura 3: Espectro De Chumacera 2 - 4VH</p> <p>Espectro CHUMACERA 2 \ 4VH, 25/10/2018 10:20:42 a.m., Canal X, Global tendencia: 16.14 mm/s Amp fund. 12.26, Frec. 1193, Orden 1</p>  <p>Figura 4: Espectro Envolvente Chumacera 2 - 4EH.F3</p> <p>Espectro CHUMACERA 2 \ 4EH.F3, 25/10/2018 10:21:12 a.m., Canal X, Global tendencia: 4.791 gE Amp fund. 0.7265, Frec. 1193, Orden 1</p>  <p>Figura 5: Gráfico de Tendencia</p> <p>Tendencia CHUMACERA 2 \ 4VH, Canal X CHUMACERA 2 \ 4VH, Amp: 16.14, Fecha/Hora: 25/10/2018 10:20:42 a.m.</p> 			
RECOMENDACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> > Verificar el peso y/o desgaste y las dimensiones de los martillos. > Reajustar toda la pernería y verificar posibles fisuras en los apoyos lo cual incrementa la vibración. > SKF continuará con el monitoreo de vibración y toma de temperaturas periódicas para evaluar la condición del equipo. 			

Tabla 61. Reporte de Vibraciones Fiberizer B

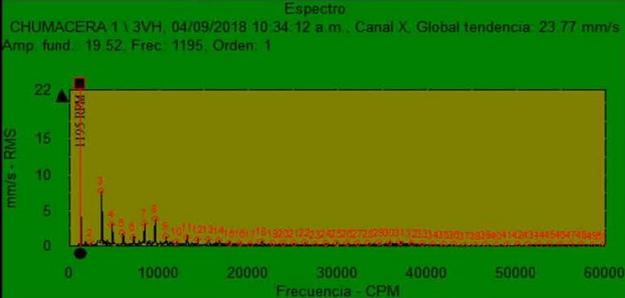
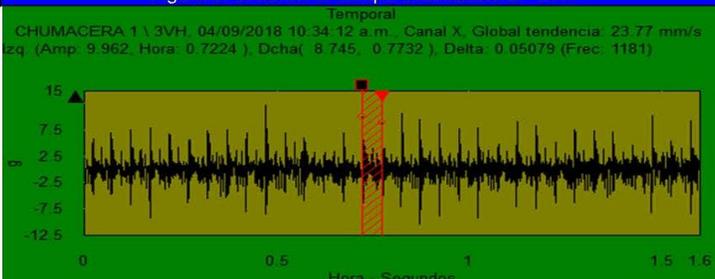
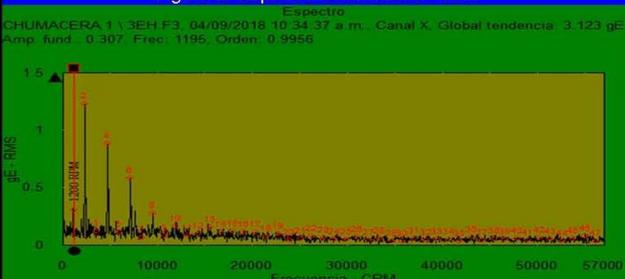
REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL - N°			
PARA			
DE		Jenns Leyva	
REVISADO POR			
FECHA DE MONITOREO			
FECHA DE ENTREGA DE REPORTE			
Reporte de Servicio		N° SERIE	DESCRIPCIÓN
N°			FIBERIZER B
			ÁREA
			LAVADERO
			ZONA B
CONDICIONES	ESTADO	VALOR MÁXIMO DE VIBRACIÓN	
CONDICIÓN ANTERIOR	ALARMA	16.59	mm/s
CONDICIÓN ACTUAL	EMERGENCIA	23.77	mm/s
DIAGNÓSTICO		SOLTURA MECÁNICA	
MOTOR			
<ul style="list-style-type: none"> Su condición operativa es ALARMA debido a los defectos en el rotor que estan condicionando la operaciónn del equipo . 			
CHUMACERAS			
<ul style="list-style-type: none"> Se aprecia una amplitud predominante al 1X (Fig. 2), debido a desbalance inducido por desgaste de los martillos del rotor. Esto repercute en la soltura de rodamientos presente en el equipo, lo que se evidencia en el aumento de amplitud de los armónicos de la frecuencia de giro . La forma de onda (Fig. 3) muestra los impactos a la frecuencia de giro del equipo debido a la soltura, los cuales llegan a niveles elvados. Los espectros envolvente (Fig. 4) muestran presencia de armónicos debido a la soltura mencionada. Esta condición aumentado en el tiempo como muestra el gráfico de tendencia (Fig. 5). Su condición operativa es EMERGENCIA. 			
VALORES GLOBALES POR PUNTO DE MEDIDA			
MOTOR ELECTRICO			
Medida	Punto 1	Punto 2	
Horizontal (mm/s)	11.37	10.72	
Envolvente - F3 (gE)	0.33	0.45	
Vertical (mm/s)	5.60	3.30	
Axial (mm/s)	2.66	2.55	
CHUMACERAS			
Medida	Punto 3	Punto 4	
Horizontal (mm/s)	23.77	21.01	
Envolvente - F3 (gE)	3.12	1.5	
Vertical (mm/s)	8.85	11.63	
Axial (mm/s)	11.85	14.29	
<p>Figura 1: IMAGEN DEL EQUIPO</p> 			
<p>Figura 2: Espectro Chumacera - 3VH</p> <p>CHUMACERA 1 \ 3VH, 04/09/2018 10:34:12 a.m., Canal X, Global tendencia: 23.77 mm/s Amp. fund. 19.52, Frec. 1195, Orden: 1</p> 			
<p>Figura 3: Onda en el tiempo Chumacera 2 - 3VH</p> <p>CHUMACERA 1 \ 3VH, 04/09/2018 10:34:12 a.m., Canal X, Global tendencia: 23.77 mm/s Iq (Amp: 9.962, Hora: 0.7224), Dcha(8.745, 0.7732), Delta: 0.05079 (Frec: 1181)</p> 			
<p>Figura 4: Espectro Envolvente Chumacera 1 - 3EH.F3</p> <p>CHUMACERA 1 \ 3EH.F3, 04/09/2018 10:34:37 a.m., Canal X, Global tendencia: 3.123 gE Amp. fund. 0.307, Frec. 1195, Orden: 0.9956</p> 			
<p>Figura 5: Gráfico de Tendencia</p> <p>CHUMACERA 1 \ 3VH, Canal X CHUMACERA 1 \ 3VH, Amp: 23.77, Fecha/Hora: 04/09/2018 10:34:12 a.m.</p> 			
RECOMENDACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> Verificar estado de martillos del rotor. Considerar las recomendaciones de montaje de rodamientos brindadas por el fabricante (verificar el ajuste del rodamiento con respecto al eje). Verificar el ajuste de toda la pernería del conjunto máquina y tambien verificar posibles fisuras. El personal de SKF continuará con el monitoreo del equipo . 			

Tabla 62. Reporte de Vibraciones Machetero B

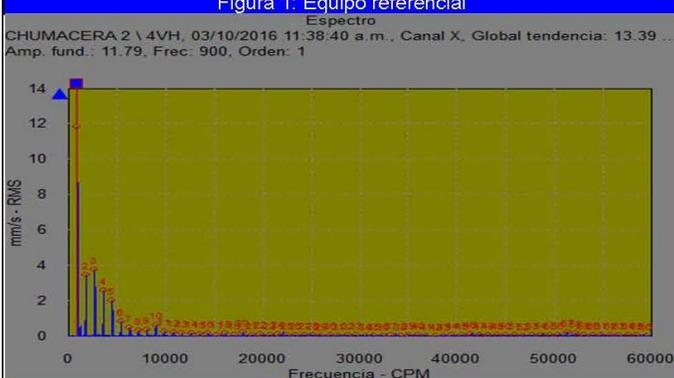
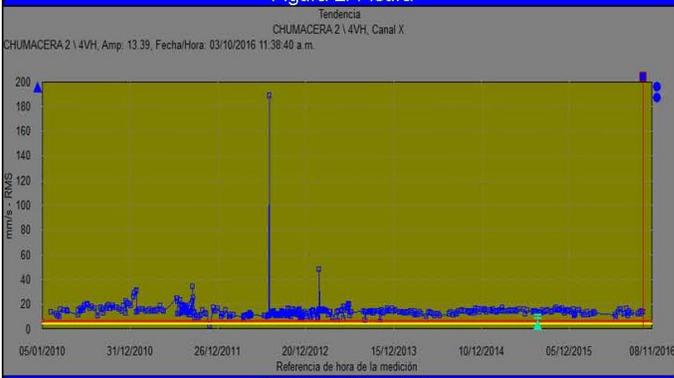
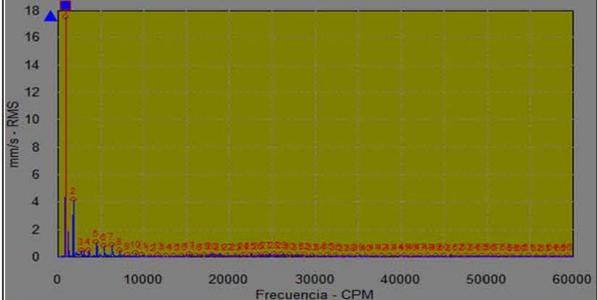
REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL - N°																				
PARA																				
ELABORADO POR	Jenns Leyva																			
REVISADO POR																				
FECHA DE MONITOREO																				
FECHA DE REPORTE																				
CODIGO	DESCRIPCIÓN	ÁREA																		
	MACHETERO B	LAVADERO																		
		ZONA B																		
Condición Global:	VALOR MÁXIMO DE VIBRACIÓN	ESQUEMAS Y FIGURAS																		
ALARMA	13.30 mm/s																			
DIAGNÓSTICO																				
MOTOR <ul style="list-style-type: none"> ● Presenta excitación de frecuencia de falla de canastilla y de pista interior del rodamiento lado acoplamiento (punto 2) su nivel de vibración en NORMAL. 																				
CHUMACERAS <ul style="list-style-type: none"> ● Se observa frecuencia predominante a la velocidad de giro 1X debido al desbalance generado del rotor. ● A consecuencia de esta observación se está generando solturas mecánicas en el sistema. 																				
VALORES GLOBALES POR PUNTO DE MEDIDA																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">MOTOR</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Punto 1</th> <th>Punto 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Horizontal (mm/s)</td> <td>2.80</td> <td>3.30</td> </tr> <tr> <td>Envolvente - F3 (gE)</td> <td>0.09</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>Vertical (mm/s)</td> <td>1.50</td> <td>1.40</td> </tr> <tr> <td>Axial (mm/s)</td> <td>1.30</td> <td>1.10</td> </tr> </tbody> </table>			MOTOR			Medida	Punto 1	Punto 2	Horizontal (mm/s)	2.80	3.30	Envolvente - F3 (gE)	0.09	0.2	Vertical (mm/s)	1.50	1.40	Axial (mm/s)	1.30	1.10
MOTOR																				
Medida	Punto 1	Punto 2																		
Horizontal (mm/s)	2.80	3.30																		
Envolvente - F3 (gE)	0.09	0.2																		
Vertical (mm/s)	1.50	1.40																		
Axial (mm/s)	1.30	1.10																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">CHUMACERAS</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Punto 3</th> <th>Punto 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Horizontal (mm/s)</td> <td>8.80</td> <td>13.30</td> </tr> <tr> <td>Envolvente - F3 (gE)</td> <td>2.3</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>Vertical (mm/s)</td> <td>3.40</td> <td>6.70</td> </tr> <tr> <td>Axial (mm/s)</td> <td>2.80</td> <td>6.50</td> </tr> </tbody> </table>			CHUMACERAS				Punto 3	Punto 4	Horizontal (mm/s)	8.80	13.30	Envolvente - F3 (gE)	2.3	1.7	Vertical (mm/s)	3.40	6.70	Axial (mm/s)	2.80	6.50
CHUMACERAS																				
	Punto 3	Punto 4																		
Horizontal (mm/s)	8.80	13.30																		
Envolvente - F3 (gE)	2.3	1.7																		
Vertical (mm/s)	3.40	6.70																		
Axial (mm/s)	2.80	6.50																		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES																				
<ul style="list-style-type: none"> ● Verificar el ajuste de toda la pernería del conjunto máquina, incluyendo tapa de chumaceras. ● Verificar el estado y los pesos de martillos del equipo en mención. ● Evaluar la posibilidad de balancear el rotor. ● Skf realizara el monitoreo constante del motor para evaluar la evolución de la anomalía encontrada (excitación de falla de rodamiento). 																				
																				
		Figura 1: Equipo referencial Espectro CHUMACERA 2 \ 4VH, 03/10/2016 11:38:40 a.m., Canal X, Global tendencia: 13.39 ... Amp. fund.: 11.79, Frec.: 900, Orden: 1																		
																				
		Figura 2: Fisura Tendencia CHUMACERA 2 \ 4VH, Amp: 13.39, Fecha/Hora: 03/10/2016 11:38:40 a.m.																		
																				
		Figura 3: Espectro Referencia de hora de la medición																		

Tabla 63. Reporte de Vibraciones Machetero A

REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL - N°		
PARA		
ELABORADO POR	Jenns Leyva	
REVISADO POR		
FECHA DE MONITOREO		
FECHA DE REPORTE		
CODIGO	DESCRIPCIÓN	ÁREA
	MACHETERO A	LAVADERO
		ZONA A
Condición Global:	ALARMA	VALOR MÁXIMO DE VIBRACIÓN 18.30 mm/s
DIAGNÓSTICO		
<p>MOTOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Valores dentro de rango NORMAL de operación. <p>CHUMACERAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Se observa frecuencia predominante al 1X (velocidad de giro del equipo) ocasionado por el desbalance del rotor, conjuntamente se aprecia la excentricidad dinámica de este a la segunda armónica 2X Según norma ISO 10816-3 su condición operativa es ALARMA. 		
VALORES GLOBALES POR PUNTO DE MEDIDA		
MOTOR		
	Punto 1	Punto 2
Medida		
Horizontal (mm/s)	5.00	4.90
Envolvente - F3 (gE)	0.04	0.05
Vertical (mm/s)	1.00	2.90
Axial (mm/s)	0.80	3.30
	Punto 3	Punto 4
Horizontal (mm/s)	9.70	18.30
Envolvente - F3 (gE)	0.6	1.1
Vertical (mm/s)	7.50	10.50
Axial (mm/s)	2.80	3.70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
<ul style="list-style-type: none"> Se requiere realizar el reajuste periódico de la pernería de sujeción del motor y de las chumaceras Mejorar el diseño en la distribución de masas y ubicación de machetes. Evaluar la posibilidad de balancear el rotor. 		
		ESQUEMAS Y FIGURAS
		 <p>Figura 1: Equipo referencial</p>
		<p>Espectro</p> <p>CHUMACERA 2 \ 4VH, 03/10/2016 11:16:41 a.m., Canal X, Global tendencia: 18.31 mm/s Amp. fund.: 17.47, Frec: 900, Orden: 1</p>  <p>Figura 2: Espectro</p>
		<p>Tendencia</p> <p>CHUMACERA 2 \ 4VH, Amp: 18.31, Fecha/Hora: 03/10/2016 11:16:41 a.m.</p>  <p>Figura 3: Tendencia</p>

ANEXOS

FIGURAS

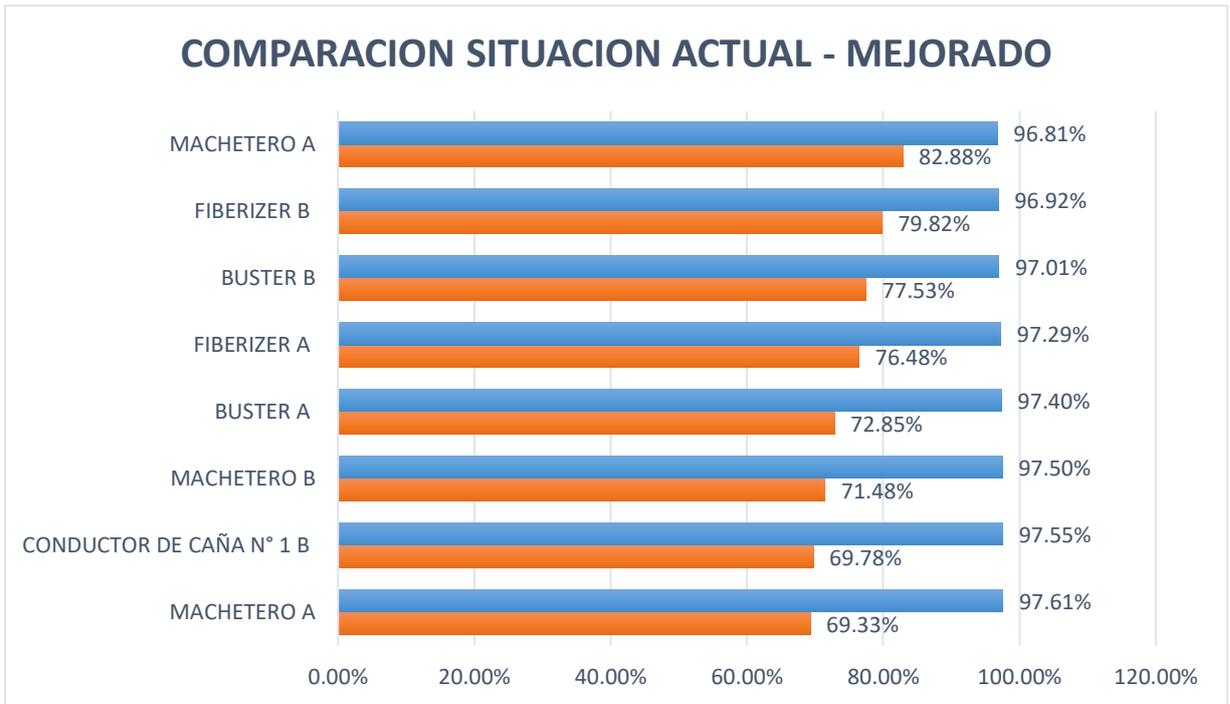


Figura 25. Comparativo actual – mejorado

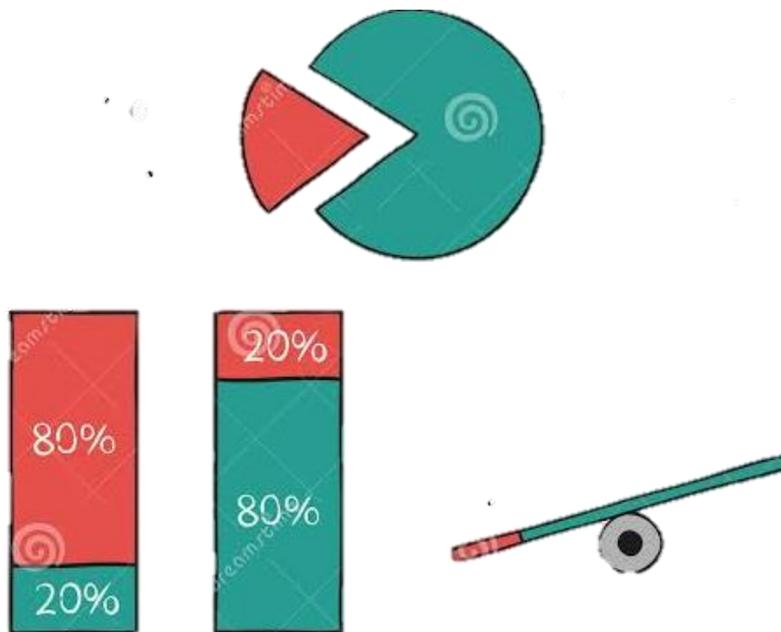


Figura 26. Análisis Pareto

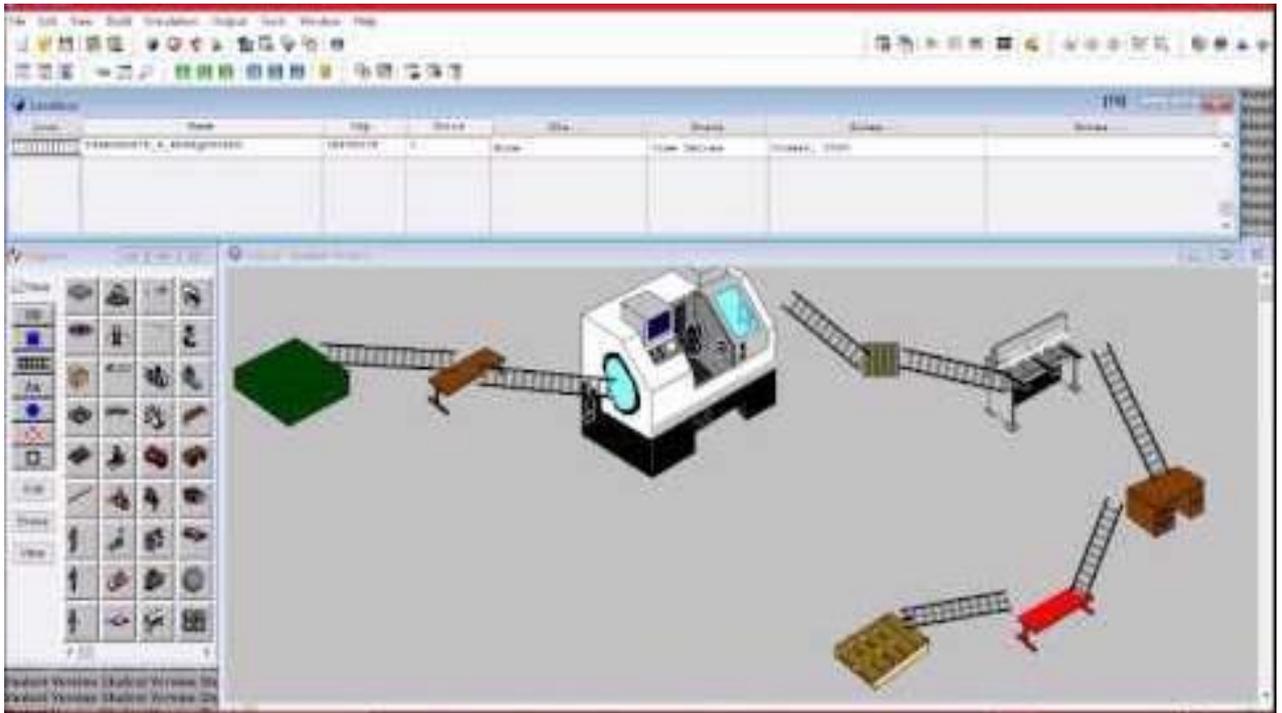


Figura 27. Simulación en Promodel.

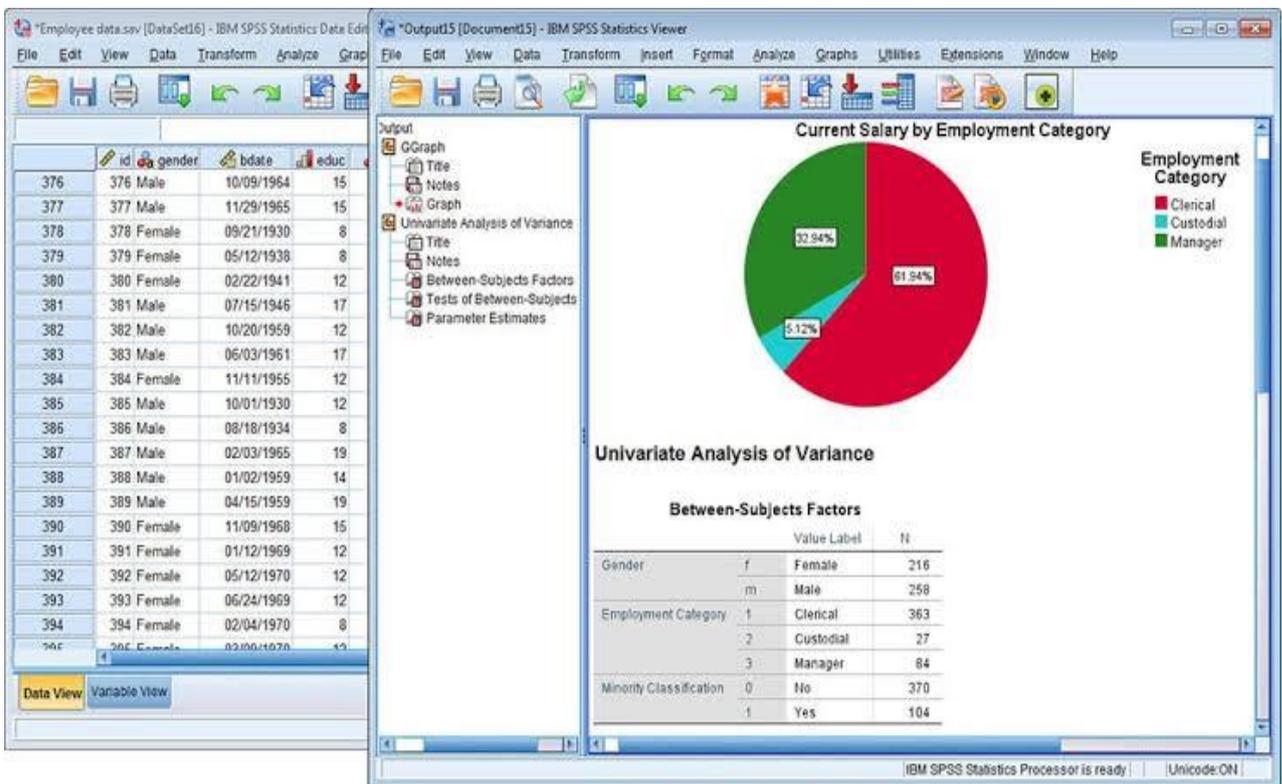


Figura 28. IBM SPS

EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE PREPARACIÓN Y MOLIENDA



Figura 29. Buster



Figura 30. Machetero



Figura 29. Fiberizer



Figura 30. Conductores de Caña

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario.					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación.					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

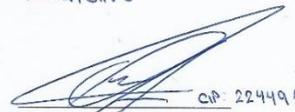
³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres : *Chávez Torres Breyner Oliver*

Profesión : *Ingeniero Mecatrónico*

Especialidad : *Supervisor - Mantenimiento Predictivo*



Firma del experto

Figura 31. Validez de Instrumentación por Experto 1

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario.					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación.					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres : *MOLOCHO DELGADO HEYNER*

Profesión : *INGENIERO MECANICO*

Especialidad : *INSPECTOR PREDICTIVO*



Firma del experto
CIP: 187696

Figura 32. Validez de Instrumentación por Experto 2

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario.					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación.					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

- ¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.
²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.
³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres : *Mercado Aguilar Carlos*
 Profesión : *Ingeniero Electrónico*
 Especialidad : *Seguridad Industrial*


 Firma del experto
 CIP: 74391.

Figura 33. Validez de Instrumentación por Experto 3

ANEXOS

CÁLCULOS

CONDUCTOR N°1 B

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{616.49}{8} = 77.06 \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Número total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$
$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 616.49)}{8} = 177.74 \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{177.74}{177.74 + 77.06} = 69.78 \%$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{177.74} = 0.00562 \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{-\frac{0.00562 * 2208}{100}} = 88.33\%$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{77.06} = 0.0130 \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{-\frac{\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{-\frac{0.0130 * 2208}{100}} * 100 = 31.57\%$$

MACHETERO B

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{581.90}{10} = \mathbf{58.19} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Número total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$
$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 581.90)}{10} = \mathbf{145.81} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{145.81}{145.81 + 58.19} = \mathbf{71.48 \%}$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{145.81} = \mathbf{0.00686} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{\frac{0.00686 * 2208}{100}} = \mathbf{85.95\%}$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{58.19} = \mathbf{0.0172} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{\frac{-\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{\frac{-0.0172 * 2208}{100}} * 100 = \mathbf{24.91\%}$$

BUSTER A

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{553.83}{12} = \mathbf{46.15} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Número total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$
$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 553.83)}{12} = \mathbf{123.85} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{123.85}{123.85 + 46.15} = \mathbf{71.48 \%}$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{123.85} = \mathbf{0.00807} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{\frac{0.00807 * 2208}{100}} = \mathbf{83.67\%}$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{46.15} = \mathbf{0.0217} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{\frac{-\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{\frac{-0.0217 * 2208}{100}} * 100 = \mathbf{38.02\%}$$

FIBERIZER A

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{479.77}{10} = \mathbf{47.98} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Número total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$
$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 479.77)}{10} = \mathbf{156.02} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{156.02}{156.02 + 47.98} = \mathbf{71.48 \%}$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{156.02} = \mathbf{0.00641} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{\frac{0.00641 * 2208}{100}} = \mathbf{86.81\%}$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{47.98} = \mathbf{0.0208} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{\frac{-\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{\frac{-0.0208 * 2208}{100}} * 100 = \mathbf{36.88\%}$$

BUSTER B

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{458.30}{12} = \mathbf{38.19} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Número total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$
$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 458.30)}{12} = \mathbf{131.81} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{131.81}{131.81 + 38.19} = \mathbf{77.53 \%}$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{131.81} = \mathbf{0.00759} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{\frac{0.00759 * 2208}{100}} = \mathbf{86.81\%}$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{38.19} = \mathbf{0.0262} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{\frac{-\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{\frac{-0.0262 * 2208}{100}} * 100 = \mathbf{43.90\%}$$

FIBERIZER B

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{411.67}{10} = \mathbf{41.17} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Número total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$
$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 411.67)}{10} = \mathbf{162.83} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{162.83}{162.83 + 41.17} = \mathbf{79.82 \%}$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{162.83} = \mathbf{0.00614} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{\frac{0.00614 * 2208}{100}} = \mathbf{87.32\%}$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{41.17} = \mathbf{0.0243} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{\frac{-\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{\frac{-0.0243 * 2208}{100}} * 100 = \mathbf{41.51\%}$$

CONDUCTOR DE CAÑA N° 2A

Tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{349.28}{11} = \mathbf{31.95} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Número total de operación}}{\text{Número de fallas}}$$
$$= \frac{TNP - (MP - TTR)}{\text{Número de fallas}} = \frac{2208 - (168 - 349.28)}{11} = \mathbf{153.70} \frac{\text{Horas}}{\text{Fallas}}$$

Disponibilidad (D):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{153.70}{153.70 + 31.95} = \mathbf{82.88 \%}$$

Tasa de fallas (λ):

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{153.70} = \mathbf{0.00651} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs Operativas}}$$

Confiabilidad (R):

$$R(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{100} * 100 = e^{\frac{0.00651 * 2208}{100}} = \mathbf{86.62\%}$$

Tasa de Reparación (μ):

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{31.95} = \mathbf{0.0315} \frac{\text{fallas}}{\text{hrs de Reparación}}$$

Mantenibilidad (M):

$$M t = 1 - e^{\frac{-\mu * TNP}{100}} * 100 = 1 - e^{\frac{-0.0315 * 2208}{100}} * 100 = \mathbf{50.11\%}$$