

**IMPLEMENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN  
LA PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO, PARA LA CATEGORIZACIÓN Y  
CLASIFICACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN DE EQUIPOS  
ROTATIVOS EN CASA LUKER S.A.**

**CARLOS RUBIANO MATOMA.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**IMPLEMENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN  
LA PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO, PARA LA CATEGORIZACIÓN Y  
CLASIFICACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN DE EQUIPOS  
ROTATIVOS EN CASA LUKER S.A.**

**CARLOS RUBIANO MATOMA.**

**Informe de Trabajo de Grado en la modalidad de Pasantía para optar al Título  
de Ingeniero Mecánico.**

**Director  
Ing. Jorge Andrés García Barbosa.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. RESUMEN.....                                                                                   | 5  |
| 2. OBJETIVOS.....                                                                                 | 6  |
| 2.1 General.....                                                                                  | 6  |
| 2.2 Específicos.....                                                                              | 6  |
| 3. MARCO REFERENCIAL.....                                                                         | 7  |
| 3.1 Panorama histórico del Mantenimiento Industrial                                               |    |
| 3.1.1 Primera Generación.....                                                                     | 7  |
| 3.1.2 Segunda Generación.....                                                                     | 8  |
| 3.1.3 Tercera Generación.....                                                                     | 8  |
| 3.1.4 Los nuevos desafíos que enfrenta el mantenimiento.....                                      | 9  |
| 3.2 Estrategias de Mantenimiento industrial                                                       |    |
| 3.2.1 ¿Qué es mantenimiento?.....                                                                 | 10 |
| 3.2.1.1 Mantenimiento Correctivo.....                                                             | 10 |
| 3.2.1.2 Mantenimiento Preventivo.....                                                             | 10 |
| 3.2.1.3 La curva de la bañera.....                                                                | 11 |
| 3.2.1.4 Patrones de falla.....                                                                    | 12 |
| 3.2.2 Mantenimiento Predictivo.....                                                               | 13 |
| 3.2.2.1 El Intervalo P-F.....                                                                     | 13 |
| 3.3 Monitoreo de condición por vibraciones mecánicas.                                             |    |
| 3.3.1 ¿Qué es el Monitoreo de condición?.....                                                     | 16 |
| 3.3.1.1 La importancia de realizar el seguimiento<br>de una variable física.....                  | 16 |
| 3.3.2 La evolución del valor medio del monitoreo de condición...                                  | 16 |
| 3.3.3 Las vibraciones mecánicas, una parte fundamental<br>de la ingeniería del mantenimiento..... | 17 |
| 3.3.4 Análisis de Tendencia.....                                                                  | 17 |
| 3.3.5 Clasificación para la evaluación vibratoria según<br>la Norma ISO 10816.....                | 18 |
| 3.3.5.1 Clasificación por grupos ISO 10816-1.....                                                 | 19 |
| 3.3.5.2 Clasificación por Grupos ISO 10816-3.....                                                 | 20 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.6 Justificación económica del mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas..... | 21 |
| 3.4 RCM (Reliability Centered Maintenance)                                                |    |
| 3.4.1 Objetivos y metas a alcanzar utilizando RCM.....                                    | 22 |
| 3.4.2 Análisis de criticidad.....                                                         | 24 |
| 3.4.3 Descripción de la metodología de análisis de criticidad.....                        | 25 |
| 3.4.3.1 Elementos para tener en cuenta para determinar la criticidad.....                 | 25 |
| 3.5: Gestión del mantenimiento.                                                           |    |
| 3.5.1 Indicadores de mantenimiento.....                                                   | 27 |
| 3.5.2 MTBF ( <i>Mid Time between failures</i> ).....                                      | 27 |
| 3.5.3 MTTR ( <i>Mid Time to Repair</i> ).....                                             | 27 |
| 3.5.4 Disponibilidad General.....                                                         | 28 |
| 3.5.5 Indicadores de gestión de órdenes de trabajo.....                                   | 28 |
| 3.5.5.1 Número de órdenes de trabajo terminadas.....                                      | 28 |
| 3.5.5.2 Número de órdenes de trabajo pendientes.....                                      | 28 |
| 3.5.5.3 Número de órdenes de trabajo de emergencia.....                                   | 29 |
| 3.5.5.4 Índice de cumplimiento de la planificación del mantenimiento.....                 | 29 |
| 4. DESARROLLO DE LA PASANTIA .....                                                        | 30 |
| 5. BENEFICIO ECONOMICO.....                                                               | 75 |
| 6. CONCLUSIONES.....                                                                      | 76 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                                         | 77 |
| ANEXOS.....                                                                               | 80 |
| ANEXO A.....                                                                              | 80 |
| ANEXO B.....                                                                              | 86 |
| ANEXO C.....                                                                              | 90 |

## **1 RESUMEN**

El proyecto enfoca una necesidad en el área de Mantenimiento de la empresa Casa Luker S.A, debido a que los recursos disponibles en la empresa se emplean a comodidad de cada área. Sin embargo, el uso de estrategias basadas en confiabilidad como el análisis de criticidad, permiten conocer el estado general de una instalación y atender fallas en los equipos, además de orientar los recursos de una manera adecuada, con el fin de garantizar el funcionamiento de las líneas de producción en planta.

La solución generada y desarrollada consistió en la implementación de los resultados del análisis de vibración a las áreas de trabajo, las cuales están compuestas por equipos rotativos. En base a la Norma ISO 10816, se realizó la categorización y evaluación de los niveles admisibles y críticos de vibración. Para esto, se efectuó un análisis de criticidad en cada área de trabajo teniendo en cuenta el nivel de vibración, lo cual permitió tener un plano más general de toda la planta en cuanto a funcionalidad. Permitiendo dar prioridad a los equipos que se registraron en niveles altos, para generar órdenes de trabajo de estilo predictivo, con las cuales serán intervenidos.

Posteriormente, se realizó el seguimiento a las actividades programadas con el fin de ampliar la visión de la gestión de mantenimiento. El uso de herramientas como el monitoreo de condición y el análisis de criticidad, permite tener al tanto al personal de mantenimiento acerca de fallas que pueden estar ocultas y evitar que estas evolucionen en el tiempo, eliminando problemas futuros en la producción.

Casa Luker, cuenta con una herramienta que permitirá orientar los recursos a donde más se necesiten y por medio del análisis de criticidad medir el impacto del proyecto en los indicadores de mantenimiento que son los que validan la evolución, calidad del trabajo y disponibilidad en planta.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GENERAL**

Implementar los resultados del análisis de vibraciones en la planeación del mantenimiento, para la categorización y clasificación de la severidad de vibración de equipos rotativos en Casa Luker S.A.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Generar un cronograma de inspección para los equipos rotativos en planta.
- Ejecutar la ruta de inspección para los equipos rotativos haciendo uso del análisis de vibraciones.
- Interpretar los resultados del análisis de vibración, con base a las zonas de evaluación que contempla la Norma ISO 10816.
- Desarrollar un análisis de criticidad para cada área de trabajo, que considere el análisis de vibración con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos.
- Establecer la gestión del mantenimiento de los equipos críticos mediante la propuesta y seguimiento de la orden de trabajo.

### 3 MARCO REFERENCIAL.

#### 3.1 Panorama histórico del Mantenimiento Industrial

El estado actual del mantenimiento ha cambiado, más que cualquier otra disciplina general. Los cambios se atribuyen al enorme aumento tecnológico y creación de estrategias de mantenimiento (1). La evolución ha hecho que se creen diseños más complejos, pero lo más importante es una óptica cambiante en la organización del mantenimiento(1).

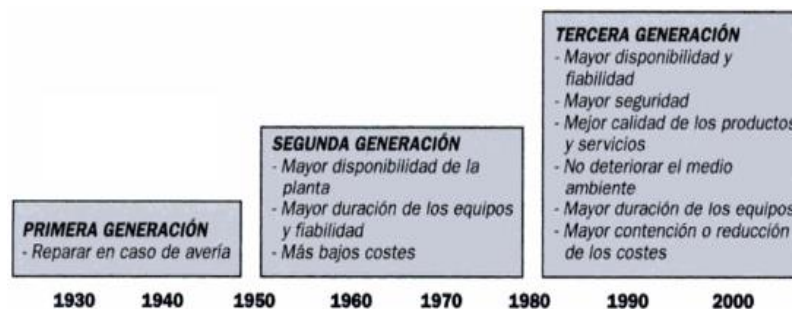
Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación de tareas preventivas aumentaba, empezaron a desarrollarse los departamentos de mantenimiento, los cuales se encargaban de realizar actividades para reacondicionar la máquinas (2).

La evolución del mantenimiento durante el siglo xx ha tenido tres etapas, las cuales se conocen como: Primera, segunda y tercera generación (4), donde se muestra el progreso de objetivos y métodos con respecto a mejorar el mantenimiento en la industria, los cuales se desarrollan a continuación:

##### 3.1.1 Primera Generación.

La primera generación cubre el periodo que se extiende hasta las Segunda Guerra Mundial. La industria no estaba altamente mecanizada, esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad en las empresas (1). En esta época las actividades de mantenimiento se regían por el pensamiento “reparar en caso de avería” (4). Además que la mayor parte de los equipos eran de diseño simple. Esto los hacía fáciles de reparar, como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación (1).

Figura 1 .Evolución de los objetivos del mantenimiento



Nombre de la Fuente: F.González, Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.

### 3.1.2 Segunda Generación.

Durante la segunda guerra mundial aparece lo que se conoce como segunda generación de mantenimiento. La exigencia de una mayor continuidad en la producción obliga a desarrollar formas de aumentar la disponibilidad de las máquinas(3). En esta etapa, para intentar conseguir los objetivos, como de mayor disponibilidad en planta se pone en marcha sistemas de mantenimiento preventivo basadas en revisiones periódicas a los equipos o instalaciones (4).

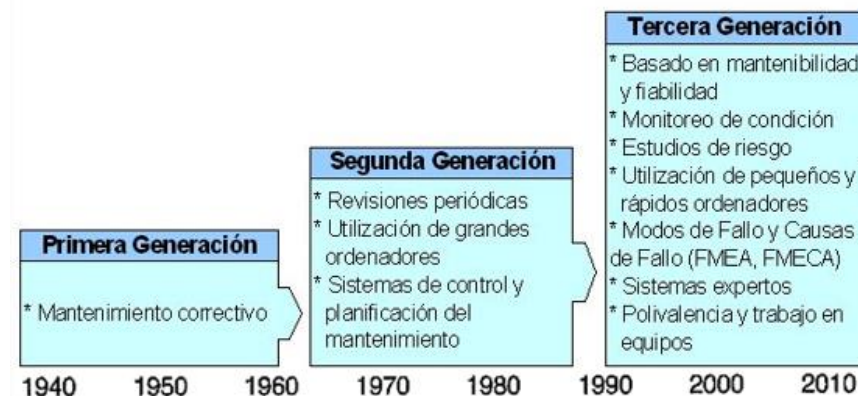
El costo del mantenimiento comenzó a crecer rápidamente con relación a otros costos operacionales. Esto llevo al desarrollo de sistemas de planeación y control de mantenimiento. Estos ciertamente ayudaron a tener el mantenimiento bajo el control y han sido establecidos como parte de la práctica del mantenimiento (1).

### 3.1.3 Tercera Generación.

Desde mediados de la década de los setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. En los años 80 empieza a concebirse el concepto de fiabilidad (3). Una mayor automatización también significa que más y más fallas afectan la capacidad de mantener parámetros de servicio como para el control de calidad del producto(1).

La filosofía y técnicas del mantenimiento de la Tercera Generación se basan en la incorporación de nuevas estrategias para admirar los activos con lo que cuenta una empresa (2). A su vez, poder incorporar todos los conceptos que se han aprendido a lo largo de la historia, con el fin de intervenir máquinas antes de que se produzca el fallo. Y gracias a las técnicas nuevas es posible realizar seguimiento a variables físicas que sean significativas y que puedan determinar el estado actual de la máquina (4).

Figura 2. Evolución de las técnicas de mantenimiento.



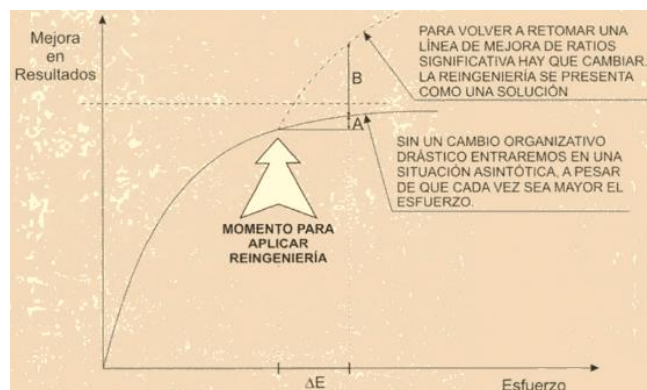
Nombre de la Fuente: J.Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

### 3.1.4 Los nuevos desafíos que enfrenta el mantenimiento.

La utilización de “Mantecnologías” organizativas, son estrategias que permiten a los responsables de mantenimiento estructurar todas las actividades con base en una visión global e integradora (4).

Todos los expertos que desarrollan la actividad del mantenimiento son conscientes de que hay mucho por optimizar aún, ya que las mejoras en un departamento de mantenimiento tienen que ir evolucionando de la mano con las nuevas tecnologías. Una vez implantada una nueva técnica o metodología, y en el caso de tener éxito, pasados unos años los indicadores del servicio (disponibilidad, fiabilidad y coste) tienden a estancarse y los esfuerzos que se deben exigir al equipo de trabajo para una determinada mejora, son cada vez mayores (6). Es por tanto, el momento de hacer reingeniería partiendo desde cero y reconsiderando los puntos de inflexión y debilidades que se tiene en el proceso de mantenimiento.

Figura 3. Efecto de la Reingeniería en una empresa.



Nombre de la Fuente: F.González, Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión.

En el caso de procesos de reingeniería, organizativa básicamente, de mantenimiento, es que el propio departamento debe hacerlo con medios propios o implicarse activa y decididamente en el proyecto. En estos departamentos lo realmente complejo es la implantación práctica del cambio, pero el objetivo central de efectuar la reingeniería es la competitividad en el mercado y la búsqueda de métodos más eficaces y eficientes para mantener una alta disponibilidad en planta(3).

La visión del mantenimiento debe ser más elevada. El personal de mantenimiento debe adoptar nuevas habilidades y ser flexibles al cambio, con el fin de encontrar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros para garantizar una empresa confiable y de buena calidad tanto en sus productos como en su servicio (1).

## 3.2 Estrategias de Mantenimiento industrial

### 3.2.1 ¿Qué es mantenimiento?

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad (2). El mantenimiento es un fundamental para toda empresa, debido a que es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa(7).

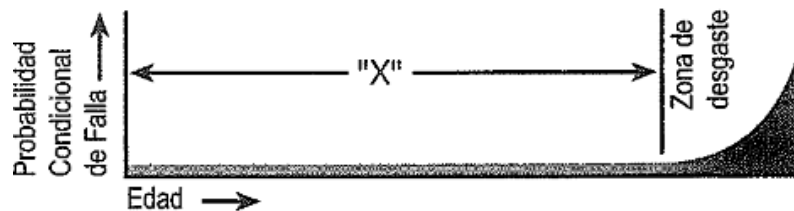
#### 3.2.1.1 Mantenimiento Correctivo.

En esta estrategia se permite la máquina funcionar hasta la falla, en ese instante se realiza la reparación o reemplazo de ella (8). Por mucho tiempo este fue la forma dominante de mantenimiento y sus costos eran relativamente elevados, debido a que los tiempos de inactividad no programados, maquinaria dañada y gastos de tiempo extra (9). Pero hoy en día el modelo correctivo aún existe, pero es aplicable a equipos con el nivel más bajo de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ya que en este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos (2).

#### 3.2.1.2 Mantenimiento Preventivo.

En esta estrategia se interviene la máquina periódicamente para inspeccionar y reemplazar componentes, aun cuando la máquina esté operando satisfactoriamente (8). Muchas empresas todavía creen que la mejor manera de optimizar la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento de rutina (1).

Figura 4. Perspectiva tradicional de falla



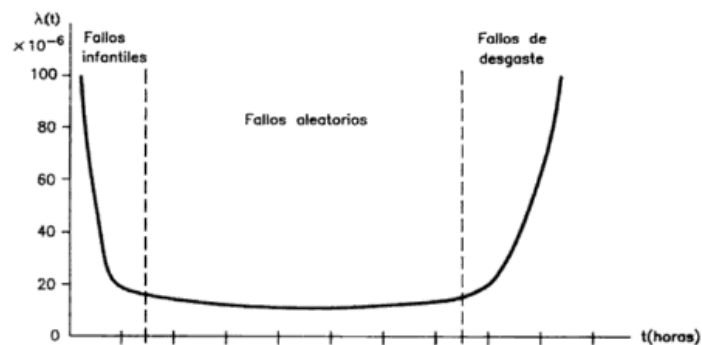
Nombre de la fuente: J.Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

La Figura 4 se basa en la presunción de que la mayoría de los equipos operan confiablemente por un periodo "X", y luego se desgastan. El pensamiento clásico permite realizar planes de acción de estilo preventivo un tiempo antes de que ellas ocurran (1).

### 3.2.1.3 La curva de la bañera

En el mantenimiento preventivo se analizan las historias de cada máquina y se programan reacondicionamientos periódicos antes de que ocurran problemas graves que puedan afectar la productividad de la planta (9). El comportamiento de la mayoría de equipos tiende a adoptar una representación típica en forma de bañera (*bathtub curve*), con tres etapas diferentes, fallos iniciales, operación normal y fallos por desgaste o envejecimiento de la maquinaria (11).

Figura 5. Representación de servicio de un equipo



Nombre de la fuente: A.Solé, Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales.

La primera etapa de fallos iniciales o infantiles, corresponde generalmente a la existencia de dispositivos defectuosos con una tasa de fallo superior a lo normal (11). Las causas posibles son errores muy diversos y que presentan relación con componentes defectuosos o por instalación incorrecta(11).

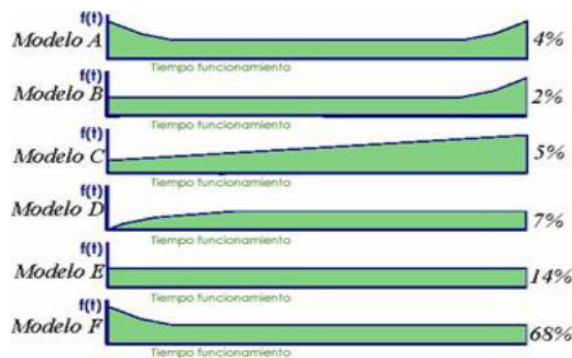
La segunda etapa de operación normal o de fallos constantes, es debida usualmente a operaciones con sollicitaciones superiores a las proyectadas. Esta etapa también es conocida con el nombre de “Vida Útil” por el hecho que el dispositivo tiene una tasa de fallos aceptables. Durante esta etapa, la tasa de fallos se estabiliza a un valor casi constante y los fallos que se presentan se denominan aleatorios, ya que ocurren de una forma inesperada (11).

La tercera etapa denominada fallos de desgaste o de envejecimiento es debida a la superación de la vida útil del componente cuando empieza a aparecer fallos de degradación como consecuencia del desgaste. Se caracteriza por un aumento en la tasa de fallos. Para retardar la aparición de la tercera etapa, puede acudir a la sustitución inmediata en los componentes del dispositivo o de los equipos cuando estos fallen. De este modo, la incidencia del desgaste, puede posponerse casi indefinidamente(11).

### 3.2.1.4 Patrones de falla

En particular las características de desgaste se encuentran a menudo en casos en que el equipo tiene contacto directo con el producto (1). Sin embargo, los equipos son mucho más complejos de lo que eran veinte años atrás. La estadística ha demostrado que, tras estudiar el comportamiento de los equipos en una planta industrial, el ciclo de la vida de la mayoría de los equipos no corresponde únicamente a la curva de la bañera, sino que tienen otros comportamientos como los que se muestran en la Figura 6.

Figura 6. Patrones de falla característicos.



Nombre de la Fuente: S.García, La contratación del mantenimiento industrial.

- Patrón A: Es la típica curva de la “bañera”. Esta presenta las tres etapas, descritas anteriormente.
- Patrón B: Tiene un comportamiento de falla constante, que posteriormente termina en una zona de desgaste.
- Patrón C: Su comportamiento de fallas que crece lentamente, pero no hay un punto para identificar claramente la zona de desgaste.
- Patrón D: Tiene un comportamiento de falla cuando el equipo es nuevo y después presenta un incremento en un nivel constante.
- Patrón E: El comportamiento de fallas es constante a lo largo de su vida útil.
- Patrón F: Comienza con alto grado de fallas y después tiende a estabilizar de forma constante (1).

De este modo se intenta conseguir que la tasa de fallos se mantenga constante en la etapa de operación normal, antes de la entrada en la etapa final de desgaste o envejecimiento (11). El mantenimiento preventivo se caracteriza porque se puede realizar de tres formas:

- Tareas de reacondicionamiento cíclico
- Tareas de sustitución cíclica
- Tareas a condición

Las tareas de reacondicionamiento implican reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento. Las tareas de sustitución cíclica implican sustituir un componente antes de un límite de edad (1). Mientras que las tareas basadas en condición, se centra en la medición de un parámetro que indique un deterioro, estas mediciones pueden relacionarse directamente con la operación de la máquina (7).

Los equipos complejos y sus componentes tendrían varias causas posibles de falla, es necesario desarrollar una serie de acciones de mantenimiento preventivo. El programa tendrá tareas agrupadas por periodicidad, es decir, diaria, semanal o anualmente, por horas de operación, por ciclos, etc (7). Si este tipo de técnicas son utilizadas correctamente, específicamente las tareas a condición son una buena herramienta para manejar fallas, pero a la vez pueden ser una pérdida de tiempo costosa (1).

### **3.2.2 Mantenimiento Predictivo**

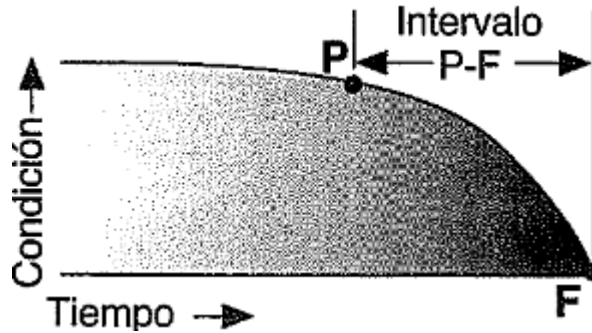
El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. Por tal motivo, es recomendable definir y gestionar valores de alarma, para poder actuar y realizar las modificaciones necesarias para que el equipo funcione en parámetros normales(3).

La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de valores, ya que es el que permite calcular o prever cuando el equipo fallara, por ese motivo se denominan técnicas predictivas (12). Además tiene una ventaja indudable frente al mantenimiento sistemático por horas de funcionamiento o por tiempo transcurrido desde la última revisión de que en la mayoría de las ocasiones no es necesario realizar grandes desmontajes (3).

#### **3.2.2.1 El Intervalo P-F**

Además de la falla potencia en sí misma, es necesario considerar la cantidad de tiempo que transcurre entre el punto y en el que ocurre una falla potencial(1).

Figura 7. Intervalo P-F

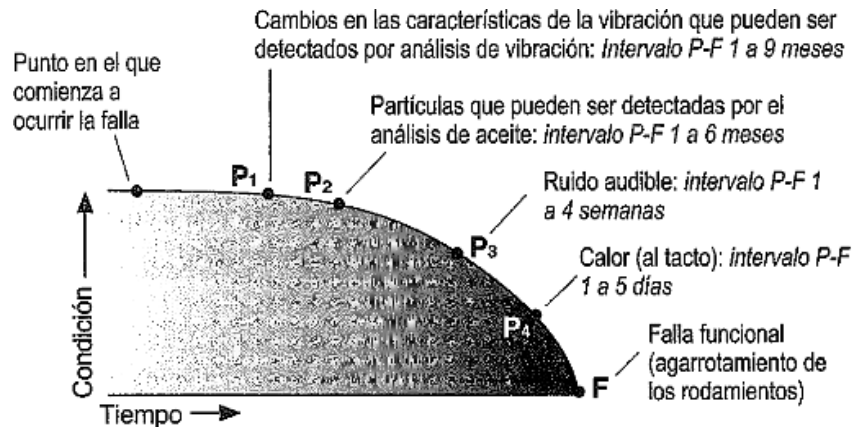


Nombre de la Fuente: J.Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

El intervalo P-F, también es conocido como el *periodo de advertencia*, el tiempo que lleva hasta la falla. Puede ser medido en cualquier unidad que provea una indicación de la exposición al esfuerzo (tiempo de funcionamiento, unidades de producción), pero por razones prácticas, generalmente es medido en términos del tiempo transcurrido(1).

No obstante lo complejo de las tecnologías aplicadas y lo especializado que puedan resultar los procedimientos, la filosofía es sencilla: la gran mayoría de las fallas no se presentan de manera brusca, en general las fallas son el resultado de un periodo de desgaste progresivo, este proceso de desgaste es cuantificable y desde el momento de la detección inicial de la falla puede evaluarse su progreso y predecirse el momento de colapso del equipo (13).

Figura 8. Problemas detectables dentro de la curva P-F



Nombre de la fuente: J.Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Los intervalos P-F asociados a las diferentes técnicas de monitoreo de condición varían desde unos pocos minutos a varios meses. Las diferencias técnicas también

determinan las fallas con distintos grados de precisión. Se debe tener en cuenta ambos factores cuando se determina la factibilidad de cada técnica. En general las técnicas de monitoreo de condición son espectacularmente efectivas cuando son apropiadas, por lo tanto, el criterio para evaluar si las tareas a condición son técnicamente factibles y si merecen la pena ser realizadas con el fin de no desperdiciar tiempo como recursos económicos (1).

### **3.3 Monitoreo de condición por vibraciones mecánicas**

#### **3.3.1 ¿Qué es el Monitoreo de condición?**

El monitoreo de condición abarca varias técnicas diferentes, las cuales fueron diseñadas para detectar los efectos de las fallas o cambio de una variable en el sistema, como ser cambios en las características de la vibración , cambios en la temperatura, partículas en el aceite lubricante, filtraciones, etc (1).

##### **3.3.1.1 La importancia de realizar el seguimiento de una variable física.**

Cuando se monitorea una variable física relacionada con el estado de la máquina, se buscan los siguientes objetivos para determinar que la técnica utilizada tenga validez como rentabilidad: (12).

- Vigilancia: Es un indicativo de la existencia de algún problema en el sistema.
- Protección: Al tener vigilado el sistema, se protege de cualquier amenaza que pueda afectar más adelante.
- Diagnóstico de fallos: La identificación de un problema específico.
- Pronóstico: es un estimado de tiempo, de cuánto tiempo puede seguir funcionando el equipo con a falla presente.

#### **3.3.2 La evolución del valor medio del monitoreo de condición**

Es importante indicar que en la obtención de los valores obtenidos cuando se aplican técnicas predictivas y las conclusiones que se obtienen es muy importante el histórico de esos valores y su evolución (3).

Con respecto al equilibrio técnico-económico, en una empresa se debe buscar el equilibrio de costes y resultados, por ello es importante tener en cuenta la Importancia y criticidad de los equipos dentro del proceso, este es un factor determinante para realizar un tipo de análisis (12).

Es indudable que enfocar la actividad de mantenimiento hacia el predictivo ha supuesto un avance, y representa una alternativa al preventivo o correctivo. Pero afirmar que el predictivo puede sustituir completamente los otros dos tipos de mantenimiento es bastante arriesgado (3), porque las técnicas predictivas no son herramientas generalistas, debido a que deben apuntar hacia el equilibrio de costes y mantenimiento, esta se aplicara a un equipo que lo justifique económicamente o tenga un alto índice de criticidad. Por tal motivo, el mantenimiento de una planta de producción es imprescindible basarlo en los tres tipos de mantenimiento, puesto que

el funcionamiento de los equipos estará en plena carga la mayor parte del día y es necesario conocer el estado actual del equipo y las medidas de mantenimiento en tal caso de ser intervenido (12).

### **3.3.3 Las vibraciones mecánicas, una parte fundamental de la ingeniería del mantenimiento.**

La ingeniería de vibraciones presenta objetivos bien definidos, en primera instancia la eliminación de vibraciones no deseadas y por otra parte la generación de las formas y cantidades necesarias de vibraciones útiles (14).

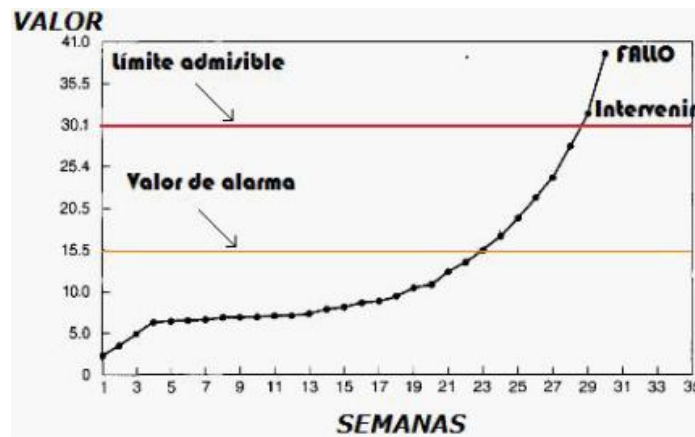
### **3.3.4 Análisis de Tendencia.**

En la vigilancia de máquinas rotativas, una de las preguntas fundamentales que es necesario responder es ¿cuánto es demasiada vibración para llevar una máquina a mantenimiento?, o dicho de otra forma que tan severa es la vibración a que está sometido el sistema. Para definir la severidad de vibración es necesario definirla respecto al daño específico que ella puede generar (8).

La determinación de los niveles normales de vibración es uno de los aspectos más importantes dentro de las tareas de organización para la implementación del diagnóstico predictivo por vibraciones mecánicas en una industria (15). Un método muy empleado para la determinación de los niveles normales de vibración es el análisis de tendencia. Este es un método, es simple el cual se basa en la graficación de los parámetros vibracionales de la máquina durante su vida útil (8).

El análisis de tendencia exige que las mediciones se efectúen sobre los mismos puntos de medición, los que deben ser seleccionados de acuerdo a la estrategia establecida para el estudio de la máquina. En la Figura 9 se muestra un gráfico del comportamiento característico de la maquinaria industrial, donde se evidencia que el primer incremento de nivel, que representa inicio de cambio de operación.

Figura 9. Análisis de tendencia en maquinaria industrial.



Nombre de la fuente: S.García, La contratación del mantenimiento industrial.

### 3.3.5 Clasificación para la evaluación vibratoria según la Norma ISO 10816.

Una guía de referencia para distinguir entre lo que puede entenderse como un funcionamiento normal o admisible de la máquina y un nivel de alerta lo constituyen normas internacionales como la ISO 10816 (16). Esta norma establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones sobre partes no rotativas de la máquina. El criterio general de evolución se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo. Esta norma reemplaza a las ISO 2372, que han sido objeto de revisión técnica (17).

La ISO 10816, consta de cinco partes fundamentales para los criterios de evaluación, los cuales son:

- Parte 1: Indicaciones generales.
- Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- Parte 4: Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- Parte 5: Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

Para este caso se hace uso de la parte 1 y la parte 3 de la Norma ISO 10816, ya que para el estudio la mayoría de equipos es maquinaria industrial entre 0 y 50 MW.

Las máquinas se diferencian por su tamaño, por su rigidez, así como su amortiguamiento, lo que incide en que los valores de los niveles de vibración no sean iguales, inclusive, entre máquinas idénticas operando bajo las mismas condiciones (15).

### 3.3.5.1 Clasificación por grupos ISO 10816-1

Clase I: Partes individuales de motores y máquinas, íntegramente conectadas a la máquina completa en sus condiciones normales de operación. (Motores eléctricos de hasta 15 KW son ejemplos típicos de este grupo).

Clase II: Máquinas de tamaño medio (típicamente motores eléctricos entre 15 y 75 KW de salida), sin cimientos especiales, o máquinas rígidas (por encima de 300 kW) sobre apoyos especiales.

Clase III: Grandes máquinas motrices y otras más grandes máquinas con masas rotativas montada sobre apoyos rígidos y pesados que son relativamente rígidos en la dirección de las medidas de vibración.

Clase IV: Grandes máquinas motrices y otras grandes máquinas con masas rotativas montadas sobre apoyos relativamente blandos en la dirección de las medidas de vibración (por ejemplo, turbogeneradores, especialmente aquellos con subestructuras ligeras).

Figura 10. Criterios de evaluación según estándar ISO 10816-1

| 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                            | Unsatisfactory (alert)   | Satisfactory             | Satisfactory                 |
| 4.50              | 0.25      | (alert)                                   |                          |                          |                              |
| 7.10              | 0.40      | Unacceptable (danger)                     | Unacceptable (danger)    | Unsatisfactory           | Unsatisfactory (alert)       |
| 11.20             | 0.62      |                                           |                          | (alert)                  |                              |
| 18.00             | 1.00      |                                           |                          | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)        |
| 28.00             | 1.56      |                                           |                          |                          |                              |
| 45.00             | 2.51      |                                           |                          |                          |                              |

Nombre de la Fuente: ISO 10816-1

Las últimas actualizaciones de la Norma sugieren que se debe tener en cuenta el tipo de montaje donde está ubicado el equipo, por lo que es necesario complementar el estándar ISO 10816-1 en cuanto a las zonas de evaluación de condición de maquinaria industrial con lo cual la clasificación para maquinaria industrial hace uso del estándar ISO 10816-3 (8).

Las significativas diferencias en el diseño, tipos de apoyos y estructuras, requieren una división en grupos. La maquinaria de estos grupos pueden tener eje horizontal, vertical o inclinado y además pueden estar montados en soportes rígidos o flexibles (17).

### **3.3.5.2 Clasificación por Grupos ISO 10816-3**

Clase I: Máquinas rotatorias grandes con potencia nominal sobre 300 KW. Su rango de operación es de 120-15000 RPM.

Clase II: Máquinas rotatorias medianas con potencia nominal entre 15 hasta 300 KW.

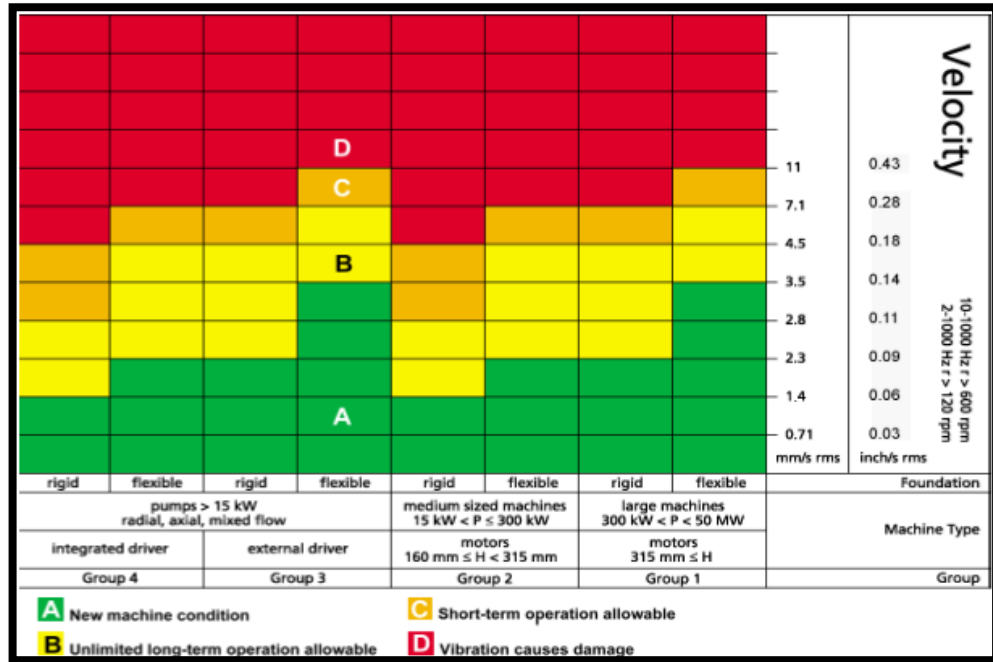
Clase III: Máquinas rotatorias pequeñas con motores externos, con potencias sobre 15 KW.

Clase IV: Máquinas rotatorias pequeñas con motor integrado, con una potencia nominal de 15 KW.

### **3.3.5.3 Clasificación de condiciones de maquinaria.**

- **Zona A: (Buena)** Es la zona de evaluación de la mayoría de máquinas nuevas.
- **Zona B: (Satisfactoria)** Máquinas con vibración en esta zona se consideran aceptables.
- **Zona C: (Insatisfactoria)** Máquinas que presentan algunos fallos, pero no es obligatorio detenerlas.
- **Zona D: (Inaceptable)** Son valores de vibración donde el equipo presenta daños internos y su mantenimiento se debe programar con alta prioridad.

Figura 11. Criterios de evaluación según estándar ISO 10816-3



Nombre de la Fuente: ISO 10816-3

El alcance atribuido al mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas está supeditado a la mayor rentabilidad, seguridad y precisión en el diagnóstico (18).

### 3.3.6 Justificación económica del mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas.

El criterio de “ahorro”, es uno de los factores que mueven actualmente la industria, ya que gastar dinero en recursos y no ver resultados es contraproducente para la empresa misma. Pero, al momento de implementar una técnica de monitoreo de condición es garantizar, que una herramienta con gran potencial puede ayudar a establecer valores de confiabilidad y evitar problemas que puedan afectar a la producción de la planta (15).

Los beneficios económicos que se han logrado en la práctica internacional, aunque han sido de una forma u otra, mencionados anteriormente, serán expuestos de forma resumida a continuación:

- Reducción de las máquinas de reserva.
- Reducción notable del período de mantenimiento.
- Reducción de los gastos (capital inmovilizado) por equipos, máquinas menores, elementos de máquinas y piezas de repuesto en almacenes.

### **3.4 RCM (Reliability Centered Maintenance)**

Es una técnica organizativa actual para aplicar el mantenimiento y mejorar resultados significativamente basados en la fiabilidad (4). Su objetivo principal es asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual (1).

Como todo mantenimiento, el objetivo primordial es la de garantizar la vida útil del activo de la manera más segura, eficiente y económica posible, es decir, en la medida de lo posible que no se produzca un fallo funcional en el equipo lo cual acarreará una parada (2). El RCM se centra en dos palabras: mantenimiento y fiabilidad, mientras que el mantenimiento es una tarea funcional encargada a un grupo de personas, la fiabilidad es una función estratégica que afecta a todas las áreas de la planta. Evidentemente, el departamento de mantenimiento tiene una importante participación en la fiabilidad, enfocada a utilizar técnicas de monitoreo de condición (CBM), análisis de modo de falla (AMEF) o un análisis de criticidad según la necesidad interna de la planta (19).

#### **3.4.1 Objetivos y metas a alcanzar utilizando RCM**

En el siguiente cuadro se exponen algunos beneficios a obtener de la implementación del RCM, donde se puede observar valores concretos de mejora en la disponibilidad, en los costes de mantenimiento, etc. Es importante resaltar que las márgenes de mejora no serán los mismos para una empresa que se haya limitado a hacer preventivo recomendado por el fabricante, que para la que lleve años optimizando recursos (4).

Tabla 1. Beneficios otorgados por el RCM

| BENEFICIOS A PERSEGUIR COM METAS EN UN MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD          |                                                            |                                                                      |                                                                               |                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| COSTES                                                                               | SERVICIOS                                                  | CALIDAD                                                              | TIEMPO                                                                        | RIESGOS                                                                                       |
| Reducir los niveles y costos de mantenimiento preventivo                             | Conocer mejor los requerimientos de servicio al cliente    | Incremento de disponibilidad por menor preventivo y menor correctivo | Reducción en las paradas programadas para grandes revisiones                  | Mayor aseguramiento de la integridad y seguridad                                              |
| Definir directrices y objetivos concretos para sustituir preventivos por predictivos | Redefinir los niveles de calidad de producto y de servicio | Eliminación de fallos crónicos                                       | Intervalos normalmente más largos en las paradas por seguimientos predictivos | Análisis de fallos ocultos, y sus causas que no suelen revisarse en mantenimientos rutinarios |
| Reducir los niveles de mantenimiento contratado                                      | Reducir las averías con principal incidencia               | Mejora en la correspondencia y adhesión al cambio de mantenimiento   | Tiempos de relación más cortos por mejor conocimiento del sistema             | Reducción de la probabilidad de fallos múltiples                                              |
| Reducir las paradas en producción de forma rentable                                  | Mejorar la comunicación entre mantenimiento y producción   | Mejor documentación del cambio y sistema auditable por terceros      |                                                                               | Reducción de riesgos asociados a las tareas rutinarias                                        |

Nombre de la Fuente: F.González, Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.

Algunas empresas piensan que la aplicación RCM, implica realizar más tareas de mantenimiento, cuando la realidad es que las tareas de mantenimiento que se realizan están más centradas y orientadas a resultados, generando un ahorro con sentido, el cual no repercute en la disponibilidad de los equipos. Un aporte importante de la implementación del RCM, es eliminar la dependencia técnica de los fabricantes, ya que se conoce mucho mejor los equipos y se amplía la visión del

personal de mantenimiento con respecto a las oportunidades de mejora dentro de la instalación (20).

### 3.4.2 Análisis de criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos y sistemas (21). Pero no todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, y se deben destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes (2).

Cuando se trata de hacer la diferenciación, se está realizando el análisis de criticidad de los equipos en planta y se puede clasificar de la siguiente manera:

- a) Equipos críticos: La parada de estos equipos pueden representar costos muy significativos y que pueden afectar los resultados de la empresa.
- b) Equipos importantes: Son aquellos cuya parada, representan un costo intermedio, el cual la empresa tiene la capacidad de asumirlo.
- c) Equipos prescindibles: Su avería no representa alguna molestia para la empresa, y su costo de mantenimiento es mínimo.

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde forman parte. Sus áreas más comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos (2) :

- Producción: En un criterio, el cual evalúa el impacto sobre la producción.
- Calidad: Estudia que tan grave puede resultar tener equipos que estén fuera de parámetros y que tanto pueden afectar la calidad del producto.
- Mantenimiento: Indicar si el equipo se puede reparar con recursos limitados, o si hay la necesidad de hacer gastos excesivos para devolverle la funcionalidad.
- Seguridad y medio ambiente: Indica el impacto sobre la seguridad del personal y del ambiente, a partir de un mal funcionamiento de los equipos.

### 3.4.3 Descripción de la metodología de análisis de criticidad

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de falla. En el eje “Y” se representa la frecuencia de fallas y en el eje “X” los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad en estudio si le ocurre una falla (22).

Figura 12. Matriz de Criticidad



Nombre de la Fuente: PEMEX, Metodología análisis de criticidad.

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el valor de la criticidad de la instalación.

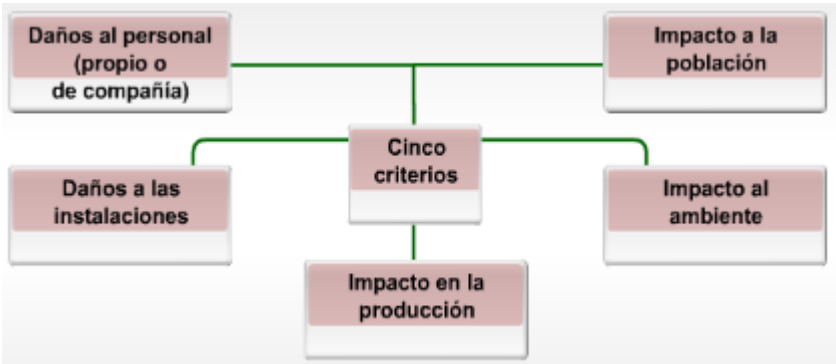
#### 3.4.3.1 Elementos para tener en cuenta para determinar la criticidad

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación (22).

$$CT = (Frecuencia\ de\ fallas) * (Consecuencia\ de\ parametros) \quad [1]$$

La estimación de la frecuencia de fallas, para cada equipo o área de trabajo en general, se utiliza el tiempo medio entre fallas (TPEF), el cual se puede determinar con los sistemas de informacion o bases de datos que se tengan en la empresa. Cuando se habla de la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean algunos criterios, los cuales se muestran en la Figura 13 (22).

Figura 13. Criterios a tener en cuenta en el análisis de criticidad



Nombre de la fuente: PEMEX, Metodología análisis de criticidad.

En cuanto a los criterios se deben evaluar de forma cuantitativa, es decir, asignar un valor numérico que permitan evaluarlo. Una vez obtenido el valor de criticidad, se ubica el valor en la matriz donde clasificara según el valor obtenido. Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a las fallas funcionales (22).

Figura 14. Matriz de criticidad con valores de evaluación.



Nombre de la Fuente: PEMEX, Metodología análisis de criticidad.

La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como gerenciar las acciones de mitigación de riesgo considerando su impacto en el proceso (22).

### 3.5 Gestión del mantenimiento.

Muchos sistemas de mejora de la calidad se fundamentan en la recogida de datos. Esto es importante, puesto que si no se recogen los datos, no se puede determinar la situación en la que se encuentra y por tanto no se puede analizar el proceso de evolución del proceso de mantenimiento (23).

Es importante tener en cuenta que no solo es valioso conocer el valor de un indicador o índice, sino también su evolución. Por ello, en el documento en el que se expongan los valores obtenidos en cada uno de los índices que se eligieron debe reflejar su evolución, mostrando junto al valor actual los valores de periodos anteriores para conocer si la situación mejora o empeora (24). Un paso muy importante del mantenimiento es reportar los éxitos, el proceso de comunicación es un factor determinante en la efectividad y credibilidad del sistema. Es necesario hacer seguimiento a los aspectos que reflejen un impacto positivo sobre la gestión del mantenimiento, la confiabilidad y la seguridad del complejo industrial (13).

#### 3.5.1 Indicadores de mantenimiento.

Toda planta de producción depende de cuatro pilares fundamentales que se deben tener en cuenta, ya que garantizan que las técnicas de mantenimiento se estén aprovechando, y son los siguientes (25):

- Fiabilidad.
- Disponibilidad.
- Costes.
- Vida útil de la instalación.

#### 3.5.2 MTBF (*Mid Time between failures*, Tiempo medio entre fallos)

Permite conocer la frecuencia con que suceden las averías.

$$MTBF = \frac{N. \text{ Horas totales del periodo analizado}}{N, \text{ Averías}} \quad [2]$$

#### 3.5.3 MTTR (*Mid Time to Repair*, Tiempo medio de reparación)

Permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta la solución.

$$MTTR = \frac{N. \text{ Horas de paro por avería}}{N, \text{ Averías}} \quad [3]$$

### 3.5.4 Disponibilidad General

La disponibilidad uno de los indicadores más importantes para la empresa, que es el que indica, cuanto tiempo está disponible un equipo o un área de trabajo en un determinado tiempo teniendo en cuenta el tiempo de paradas que se han generado por averías.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF} \quad [4]$$

### 3.5.5 Indicadores de gestión de órdenes de trabajo.

En esta parte se trabajan específicamente a las órdenes de trabajo, las cuales relacionan ciertas características e información a la hora de valorar un trabajo (23).

- Equipo o instalación en el que se debe intervenir
- El tipo de trabajo que se debe realizar
- Las herramientas necesarias
- Los riesgos del trabajo, las precauciones que deben tomarse y los equipos de protección necesarios.
- La prioridad del trabajo

Las órdenes de trabajo surgen de una avería o de un mantenimiento planificado en el proceso de producción y junto con esta surge una solicitud de ayuda para reparar el inconveniente. Este tipo de gestión se hace con el fin de responder a una ronda periódica de vigilancia o de inspección. Cuando se generan órdenes de trabajo del estilo predictivo, se crean en función de las rutas de mantenimiento y es indispensable conocer su índice de cumplimiento para poder determinar si la técnica que se esté utilizando tiene validez para la compañía (23).

#### 3.5.5.1 Número de órdenes de trabajo terminadas

Suele ser útil conocer cuál es el número de órdenes de trabajo terminadas, sobre todo en relación al número de órdenes generadas. Es importante realizar el seguimiento de la evolución en el tiempo de este tipo de indicador.

#### 3.5.5.2 Número de órdenes de trabajo pendientes

Este indicador da una idea de la eficiencia en la resolución de problemas. Es conveniente distinguir entre las órdenes de trabajo que están pendientes por causas ajenas a mantenimiento (pendientes por la recepción de un repuesto, pendientes porque producción no da su autorización para intervenir el equipo, etc) de las

debidas a la acumulación de tareas o a la mala organización del mantenimiento (24).

#### **3.5.5.3 Número de órdenes de trabajo de emergencia.**

Una referencia muy importante del estado de la planta es el número de O.T de emergencia que se han generado en un periodo determinado. Si ha habido pocas o ninguna, se tiene la seguridad de que el estado de la planta es fiable. Si por el contrario, las órdenes de prioridad máxima que se generan son muchas, se podrá pensar que el estado de la planta es malo (24).

#### **3.5.5.4 Índice de cumplimiento de la planificación del mantenimiento.**

Es la proporción de órdenes de trabajo que se terminaron o culminaron en un periodo determinado, sobre el total de ordenes generadas, con este se puede medir el acierto de la planificación o cumplimiento de los trabajos encomendados.

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{\text{órdenes ejecutadas}}{\text{órdenes generadas}} \quad [5]$$

Siendo de esta manera hacer que se tenga otro punto de vista para evaluar el mantenimiento en una compañía. Debido a que las tecnologías representan hoy en día una herramienta fundamental de los sectores industriales, brindando altos beneficios en los costos de producción, la seguridad y disponibilidad de los equipos, pero siempre y cuando se tenga un punto de partida para poder evaluar el impacto de la metodología que se adopte en cada empresa (13).

## **4 DESARROLLO DE LA PASANTIA.**

### **4.1 Descripción del proceso de fabricación de Chocolate**

Es bien conocido que Casa Luker S.A, es una empresa colombiana, la cual cuenta con una amplia gama de productos de alimentos, pero su producto más reconocido a lo largo de los años es la producción de chocolate, el cual se sirve en las mesas de las familias colombianas. Entre sus productos más reconocidos a nivel Nacional, se encuentra el Chocolate Luker y el Chocolate Sol, entre otras marcas expuestas en el mercado del país.

Pero ¿Cómo es el proceso de transformación de la materia prima hasta que llega a los hogares Colombianos?, Bueno todo comienza con la planta de cacao, donde se extraen las semillas del fruto, estas son cosechadas e importadas hasta la planta Principal en Bogotá. La materia prima llega, se almacena en bodegas, se hace un inventario y se programa su producción.

Cuando el plan de producción está listo, el grano de cacao se lleva de la bodega de materia prima, hacia una zona de trabajo denominada limpieza, donde se hace un tratamiento especial, el cual consiste en quitar impurezas y material extraño que pueda contener el insumo principal. Para este proceso el grano de cacao pasa por una serie de silos de limpieza, para después pasar por un equipo llamado densimétrica-separadora, donde por medio de imanes y mallas se filtran metales y piedras que se pudieron recoger durante la cosecha. Este proceso es con el fin de garantizar un grano de cacao limpio y en óptimas condiciones para su procesamiento.

Luego el grano de cacao pasa por una zona de trabajo llamada “BARTH”, el nombre se debe a que los equipos de esa área son de esa referencia de proveedores. En esta zona de trabajo el cacao pasa totalmente libre de impurezas, y se transporta por medio de elevadores de producto hacia un equipo denominado Infrarrojo (IR). Este equipo efectúa un pretratamiento y consiste en inflar o expandir la cascara del grano de cacao, dejando que la almendra de cacao tenga una cama de aire con respecto a la cascara, para que en el proceso de trillado sea más sencillo la separación de ambos.

Inmediatamente pasa por el infrarrojo, el grano pre-tratado descarga sobre una serie de martillos, los cuales cumplen la función de romper y desprender la cascara del cacao, y el resultante se dirige hacia unos tamices móviles, los cuales transportan la cascara y la almendra de cacao hacia la parte baja del equipo. En esta parte por densidad y peso, el producto más liviano, en este caso la cascara pasa por un ducto hacia unos molinos para trituración, y el producto más pesado, siendo este la almendra de cacao pasa por un segundo ducto hacia la zona de tostión.

Cuando el producto se encuentra en la zona de tosti3n, la almendra de cacao previamente separada en el proceso de trillado, se almacena en unas tolvas con capacidad de aproximadamente 2700 kg. Este proceso se realiza en un tambor rotativo, el cual se encarga de calentar la almendra de cacao a ciertas temperaturas, seg3n la referencia programada por producci3n. Este proceso se demora entre 50 a 60 minutos, despu3s de que la almendra de cacao esta tostada y se verifica su calidad con pruebas de laboratorio.

En el 3rea de molienda, existe un sistema de molinos denominado Nibrot3n, este sistema est3 compuesto por un molino principal y dos molinos de bolas Wiener. En esta parte del proceso, los molinos con sus componentes internos y altas temperaturas hace que la almendra tostada se vuelva liquida y as3 poder extraer el licor de cacao, donde una peque1a parte se direcciona al mercado extranjero y el resto se transporta al 3rea de chocolates.

El 3rea de molienda cuenta con un dispositivo de prensado, donde la mezcla de cacao con los dem3s ingredientes se comprime hasta cierto punto que se puede extraer la manteca de cacao. Como resultado de la compresi3n queda una especie de torta libre de grasa, esta torta pasa por unos quebrantadores quedando en trozos m3s peque1os, para luego pasar por unos pulverizadores, los cuales se encargan de volver polvo en su totalidad el producto, y as3 poder sacar al mercado productos como el Luker F3cil.

La gran mayor3a de transporte de licor de cacao est3 destinado al 3rea de chocolates, donde se almacenan en tanques para despu3s poder mezclar con los dem3s ingredientes, como lo son la leche en polvo y el az3car. Cuando todos los ingredientes est3n listos, el producto pasa por una serie de mezcladores, que se encargan de homogenizar la mezcla. Posteriormente, la mezcla pasa por unas atemperadoras, las cuales se encargan de subir y bajar la temperatura del chocolate logrando el sabor, la textura y el brillo deseado. Si la mezcla est3 bajo los par3metros exigidos, pasa por los cavemil (inyectoras de chocolate) a inyectar en moldes a una temperatura aproximada de 40 a 80 grados Celsius, seg3n la referencia que se haya solicitado. Estos moldes son transportados por una cadena, y los hace pasar por unos vibradores, los cuales se encargan de que la mezcla de distribuya por todo el molde. El segundo proceso es el enfriamiento r3pido, este se efect3a en un t3nel de enfriamiento a m3s o menos de tres a cinco grados Celsius, despu3s del t3nel la pastilla en el molde sale solidificada y por medio de unos volteadores y martillos neum3ticos se procede a extraer la pastilla del molde. Las pastillas son transportadas por una banda, y all3 se hace la 3ltima revisi3n por medio de sensores, y se verifica que la pastilla vaya completa sin defectos y finalmente es empacada para salir al mercado.

#### **4.1.1 Funcionalidad de los equipos.**

Las funciones principales de un sistema son de gran importancia, porque con estas se puede determinar para que fueron diseñados los equipos, su capacidad y hasta qué punto puede funcionar sin presentar una afectación grave o deterioro en alguno de sus componentes. Mientras que, las funciones secundarias son indicativos de mantenimiento y/o seguridad del equipo como para las personas. Por ejemplo, una bomba centrífuga, la función primaria es bombear cierto volumen de agua por hora de un lugar a otro, mientras que su función secundaria es asegurarse que ese volumen de agua por unidad de tiempo llegue al destino, que no existan fugas y que todos sus componentes internos operen de una manera correcta.

El área de trabajo que se expone en la Tabla 2, es el área de chocolates, ya que es una de las líneas con mayor tiempo de actividad en la planta, y es importante conocer que es lo que hace cada parte y distinguir la importancia de cada equipo en el proceso de la elaboración de chocolate. Todos los equipos son importantes en función de la producción, pero a la hora de repararlos o cambiarlos, la importancia toma un valor relativo, debido a que si es un equipo que hace parte del proceso pero su función primaria es mover una banda transportadora, no es tan importante como un equipo que su función primaria es mover toda la transmisión de un sistema. Toda la importancia toma un valor económico, y esto es con lo que realmente evalúa si un equipo es indispensable repararlo o cambiarlo, además permite priorizar y asignar correctamente los recursos que se tienen disponibles en el departamento de mantenimiento.

Tabla 2. Funciones principales y secundarias de equipos área de chocolates.

| CHOCOLATES        |                               |                                                         |                      |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA | Nombre del Equipo             | FUNCION PRIMARIA                                        | FUNCION SECUNDARIA   |
| CREME 600         | Motor Creme 600               | Mover transmisión principal del cavemil 600             | Seguridad y control  |
|                   | Motor Ventilador Creme 600    | Refrigerar el motor principal                           | Control y seguridad  |
|                   | Transmisión entrada Creme 600 | Transmitir potencia al cardan de entrada                | Seguridad y control  |
|                   | Transmisión Salida Creme 600  | Transmitir potencia al cardan de salida                 | Seguridad y control  |
| SUPER CAVEMIL     | Motor Ppal Supercavemil       | Mover toda la transmisión de cadenas                    | Control y contención |
|                   | Motor atemperado #9           | Tener en movimiento el chocolate a ciertas temperaturas | Control y contención |
|                   | Motor atemperado #8           | Tener en movimiento el chocolate a ciertas temperaturas | Control y seguridad  |
|                   | Motor atemperado #7           | Tener en movimiento el chocolate a ciertas temperaturas | Control y seguridad  |
|                   | Mezclador 1 supercavemil      | Mover transmisión para mezclar ingredientes             | Control e inocuidad  |
|                   | Mezclador 2 Supercavemil      | Mover transmisión para mezclar ingredientes             | Control e inocuidad  |
|                   | Ventilador Cava S.Cavemil     | Mover ventilador de recirculación de aire frio          | Control y seguridad  |
|                   | Sinfín Vertical atemperado 7  | Elevar producto hacia sinfín horizontal                 | Control y contención |
|                   | Sinfín vertical atemperado 8  | Elevar producto hacia sinfín horizontal                 | Control y contención |
|                   | Sinfín Horizontal Out atemp 8 | Transportar producto hacia la dosificadora              | Control y contención |
|                   | Sinfín Horizontal Out atemp 7 | Transportar producto hacia la dosificadora              | Control y contención |
|                   | Sinfín Horizontal In atemp 9  | Transportar producto hacia la dosificadora              | Control y contención |
|                   | Sinfín Horizontal Out atemp 9 | Transportar producto hacia la dosificadora              | Control y contención |
|                   | Sinfín vertical atemp 9       | Elevar producto hacia sinfín horizontal                 | Control y contención |
| CAVEMIL 1         | Mezclador Cavemil 1           | Mover transmisión para mezclar ingredientes             | Control y contención |
|                   | Motor atemperado #1           | Tener en movimiento el chocolate a ciertas temperaturas | Control e inocuidad  |
|                   | Transmisión Cavemil 1         | Mover toda la transmisión de cadenas                    | Control y seguridad  |
|                   | Compresor Mycom               | Refrigerar el sistema de enfriamiento con Amoniaco      | integridad ambiental |
| CAVEMIL 2         | Sinfín vertical Cavemil 2     | Transportar producto hacia la dosificadora              | Control y contención |
|                   | Motor Atemperado Cavemil2     | Tener en movimiento el chocolate a ciertas temperaturas | Control e inocuidad  |
|                   | Transmisión Cavemil 2         | Mover transmisión para mezclar ingredientes             | Control y seguridad  |
|                   | Compresor Grasso              | Refrigerar el sistema de enfriamiento con Amoniaco      | integridad ambiental |
| Weacon 50         | Weacon 50                     | Mover producto en tanque de almacenamiento              | Control y contención |

Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto.

El listado completo de equipos que componen cada área de trabajo, junto con sus características principales (ver anexo A).

#### **4.1.2 Clasificación de los equipos rotativos en las zonas de evaluación de la Norma ISO 10816-1 y 10816-3.**

La Normativa ISO 10816-1 permite evaluar equipos de baja potencia (0-15 KW), estos son importantes para la empresa ya que realizan un trabajo específico en cada área de trabajo, por ejemplo mover una banda transportadora, mientras que la Normativa ISO 10816-3 permite evaluar equipos hasta 50 MW, los cuales son los encargados de mover cargas pesadas, por ejemplo el motor principal del tostador. Pero el análisis de vibraciones como la propia Norma no es excluyente, debido a que todo equipo presente dentro de la planta tiene su papel fundamental a la hora de efectuar un proceso de calidad.

En la Tabla 3, se efectúa la clasificación bajo los estándares de ambas Normas, entonces es necesario contemplar el tipo de equipo y su potencia. Se realiza el ejemplo con el área de chocolates, donde se puede evidenciar que la mayoría de equipos son clasificados bajo la Norma ISO 10816-1, debido a que son equipos pequeños que tienen una función específica en el proceso, y algunos equipos se clasificaron bajo el estándar ISO 10816-3 porque son equipos relativamente grandes y son los que efectúan una función principal dentro del proceso.

Tabla 3. Evaluación de equipos bajo la Norma ISO 10816. (Chocolates).

| UBICACIÓN<br>TÉCNICA     | Nombre del Equipo                | Tipo de<br>equipo    | Potencia<br>[kW] | Velocidad<br>[RPM] | NORMA       | CLASIFICACIÓN |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------|---------------|
| <b>CREME<br/>600</b>     | Motor Creme 600                  | Motor                | 11               | 1740               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Motor Ventilador<br>Creme 600    | Motor-<br>Ventilador | 0,17             | 1600               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Transmisión entrada<br>Creme 600 | Transmisión          | 11               | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Transmisión Salida<br>Creme 600  | Transmisión          | 11               | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>SUPER<br/>CAVEMIL</b> | Motor Ppal<br>Supercavemil       | Motor-<br>Bomba-Red  | 22,4             | 1182               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                          | Motor atemperado #9              | Motor-<br>Bomba-Red  | 10               | 1750               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Motor atemperado #8              | Motor-<br>Bomba-Red  | 8                | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Motor atemperado #7              | Motor-<br>Bomba-Red  | 8                | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Mezclador 1<br>supercavemil      | Motor-<br>ventilador | 17               | 1200               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                          | Mezclador 2<br>Supercavemil      | Motor                | 17               | 1140               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                          | Sinfín Vertical<br>atemperado 7  | Motor                | 9,5              | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Sinfín vertical<br>atemperado 8  | Motor                | 9,5              | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Sinfín Horizontal Out<br>atemp 8 | Motor                | 10               | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Sinfín Horizontal Out<br>atemp 7 | Motor                | 10               | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Sinfín Horizontal In<br>atemp 9  | Motor                | 5,5              | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Sinfín Horizontal Out<br>atemp 9 | Motor                | 5,5              | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          |                                  |                      |                  |                    |             |               |
| <b>CAVEMIL 1</b>         | Mezclador Cavemil 1              | Transmisión          | 10               | 1140               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Motor atemperado #1              | Motor-<br>Compresor  | 8                | 1100               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Transmisión Cavemil<br>1         | Motor                | 15               | 980                | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                          | Compresor Mycom                  | Motor-<br>Bomba-Red  | 20               | 1000               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
| <b>CAVEMIL 2</b>         | Sinfín vertical<br>Cavemil 2     | Transmisión          | 5,5              | 900                | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Motor Atemperado<br>Cavemil2     | Motor-<br>Compresor  | 8                | 1750               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Transmisión Cavemil<br>2         | Motor                | 10               | 1550               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                          | Compresor Grasso                 | Motor-<br>compresor  | 15               | 1550               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
| <b>Weacon 50</b>         | Weacon 50                        | Motor                | 18               | 1400               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

El listado completo de equipos que componen cada área de trabajo, junto con sus características principales (ver anexo B).

Cada Estándar tiene una sub-clasificación como se mencionó en la parte de Normativa de vibraciones, esta hace referencia que dependiendo de la potencia del equipo se clasifica en grupos de familias, lo que hace un poco más sencillo evaluar los equipos.

## **4.2 Cronograma de inspección para los equipos rotativos de Casa Luker S.A**

### **4.2.1 Generación del Cronograma de inspección**

Conociendo el proceso de transformación desde la materia prima hasta el producto final que se adquieren en los almacenes de cadena y/o supermercados, es notable la importancia que la planta se encuentre en buen estado, bajo parámetros de calidad y seguridad. Los parámetros del proceso están enmarcados en comportamiento y funcionalidad de la totalidad de los equipos, que son los encargados de procesar, transportar, empacar y sobretodo garantizar la inocuidad del producto.

El desarrollo del cronograma de inspección debe realizarse en función de la planeación de la contratación del servicio y de la producción en planta. Debido que la inspección por análisis de vibraciones es un servicio bimensual y es necesario coordinar todas las actividades necesarias, para que se pueda planear y ejecutar de manera cíclica para cada inspección contratada.

Tabla 4. Cronograma de actividades

| <b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>                             |
|--------------------------------------------------------------|
| <b>ACTIVIDAD</b>                                             |
| Verificar el funcionamiento de los sistemas de planta.       |
| Programar la ruta de inspección.                             |
| Definir días para la inspección por análisis de vibraciones. |
| Entrada y ejecución del servicio contratado.                 |
| Realizar acompañamientos al personal.                        |
| Interpretación de datos para definir equipos críticos.       |
| Realizar análisis de criticidad para cada área de trabajo.   |
| Convertir la criticidad en información útil.                 |
| Solución de problemas identificados.                         |
| Analizar posibles mejoras en la empresa como del servicio.   |

Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto.

Cada ítem del cronograma de actividades, definen cuales son las operaciones a realizar en cada ciclo de la inspección por análisis de vibraciones. La inspección por

análisis de vibraciones se viene realizando cada dos meses, con el fin de tener el tiempo de procesar e interpretar que salió mal en planta. En primera instancia, es necesario realizar una inspección visual para ubicar y verificar que todos los equipos estén operando en condiciones normales, de lo contrario registrar cuales sistemas están detenidos o fuera de servicio.

Teniendo en cuenta, la inspección visual y el registro de anomalías, se procede a la generación de la ruta de inspección, con el fin cubrir áreas de trabajo completas, y poder agilizar el proceso de toma de datos, es decir, procurar que todos los equipos dentro de la ruta estén contiguos entre ellos.

Con la ruta programada, el siguiente paso es consultar la disponibilidad en planta, este ítem está enmarcado o restringido en base a la planeación de producción, y es necesario conocer esta. Puesto que conocer la programación de producción facilita determinar la disponibilidad de las áreas de trabajo, para ejecutar la ruta de inspección haciendo uso del análisis de vibraciones.

La programación de producción no se puede determinar a largo tiempo, debido que esta puede cambiar por diversos motivos, entre los cuales se pueden encontrar cambios de referencia o retrasos de producto terminado. La recomendación para la definir los días de la próxima inspección el siguiente bimestre, es consultar la disponibilidad de las áreas de trabajo en fechas cercanas antes de que el servicio contratado ingrese a la empresa, con el fin de garantizar que la metodología conserve su validez

Como ejemplo, se muestra la disponibilidad de las áreas de trabajo para la semana que comprende del 31 de Octubre hasta el 05 de Noviembre, ya que el servicio de inspección por análisis de vibraciones fue contratado para esas mismas fechas.

Tabla 5. Disponibilidad de las áreas de trabajo

| <b>DISPONIBILIDAD PLANTA</b> |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| Fecha Inicio                 | 31/10/2016              |
| Fecha Final                  | 05/11/2016              |
| <b>AREA DE TRABAJO</b>       | <b>DISPONIBILIDAD</b>   |
| Chocolates                   | Completa                |
| Gráneles                     | Completa                |
| Molienda                     | Completa                |
| Tostión                      | Completa                |
| Refinado                     | Miércoles<br>02/11/2016 |

Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto.

Para garantizar una disponibilidad completa en planta, todos los equipos de la parte de servicios industriales deben estar funcionando a plena capacidad, ya que son los

encargados de transportar el producto por ductos a través de la planta, además de mover fluidos refrigerantes para que los equipos no presenten sobrecalentamiento, y es implícito respaldar el buen estado de estos equipos, puesto que son gran mayoría en la compañía. Con los parámetros de disponibilidad de planta, se establece que todas las áreas de trabajo estarán en servicio, posteriormente se procede a realizar un listado de equipos en función de la programación. En la Figura 15, se muestra un mapa general de los equipos que caracterizan cada área de trabajo.

Figura 15. Equipos característicos de las áreas de trabajo.



Nombre de la fuente: Autor del Proyecto.

Teniendo claro esto, el paso a seguir es establecer fechas para la recolección de datos, el cual optimizará los tiempos de medición, con el fin de garantizar que todos los equipos estén funcionando para obtener el estado actual de vibración con el cual se realizarán las próximas actividades del proyecto.

Se procede a realizar el ingreso del servicio contratado a la empresa, en base a las fechas establecidas para inspeccionar cada área de trabajo. Para ejemplo, se muestran las fechas establecidas para la inspección que se realizó en el mes de Noviembre del 2016.

Tabla 6. Fechas establecidas para inspección por del análisis de vibraciones

| <b>Fechas Para Vibraciones Mecánicas</b> |                |
|------------------------------------------|----------------|
| <b>Área de Trabajo</b>                   | <b>Día</b>     |
| Barth (Limpieza)                         | Lun 31/10/2016 |
| Chocolates                               | Lun 31/10/2016 |
| Molienda-Prensa                          | Mar 01/11/2016 |
| Gráneles                                 | Mar 01/11/2016 |
| Servicios Industriales                   | Mie 02/11/2016 |
| Bühler                                   | Mie 02/11/2016 |
| Equipos en alturas                       | Jue 03/11/2016 |

Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto

En la sección 4.3, se define la importancia del acompañamiento al personal contratado. Seguido a esto la ejecución de la ruta de inspección por análisis de vibraciones debe realizarse en los días establecidos, ya que después de la fecha límite, producción se encarga de realizar una nueva programación para la siguiente semana.

En cuanto a la interpretación de datos y el análisis de criticidad son actividades importantes que se deben realizar en cada ciclo bimensual de la inspección por análisis de vibraciones, ya que permiten ver el estado general de las áreas de trabajo en cuanto a factores de seguridad, ambiente y mantenimiento. El objetivo de identificar las áreas críticas de la empresa, es poder facilitar la toma de decisiones, a la hora de asignar recursos para la solución de los problemas identificados.

La periodicidad de la inspección por análisis de vibraciones, está definida por el intervalo P-F, el cual tiene relación a las diferentes técnicas de monitoreo de condición. Específicamente, los cambios en las características de la vibración están estimadas para un intervalo de uno a nueve meses en condiciones ideales. Pero, Casa Luker siendo una planta de alimentos, los equipos funcionan la mayor parte del día de una forma casi constante. Este tipo de carga de trabajo hace que el intervalo de inspección se reduzca a mas poco tiempo; en la Figura 16, se muestra los intervalos de inspección para diferente maquinaria teniendo en cuenta el tipo de monitoreo.

Figura 16. Periodicidad de inspección dependiendo de la técnica de monitoreo.

| TIPO DE MÁQUINA       | TÉCNICAS DE INSPECCIÓN |                                 |                        |                         |                                |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|
|                       | INSPECCIÓN VISUAL      | VIBRACIONES y RUIDO ULTRASONICO | TERMOGRAFIA INFRARROJA | ANÁLISIS DE LUBRICANTES | ANÁLISIS DE LA SEÑAL ELECTRICA |
| MOTORES ELÉCTRICOS    | 1 D                    | 30 - 60 D                       | 90 - 120 D             | E                       | 90 - 120 D                     |
| EQUIPOS ROTATIVOS     | 1 D                    | 30 - 60 D                       | E                      | 90 - 120 D              | x                              |
| PANELES ELECTRICOS    | 30 D                   | x                               | 90 - 120 D             | x                       | x                              |
| CALDERAS              | 1 D                    | x                               | 60 - 90 D              | x                       | x                              |
| TURBOMAQUINAS         | 1 D                    | C                               | 6 M                    | 30 D                    | x                              |
| MOTORES DE COMBUSTION | 1 D                    | 60 - 90 D                       | 120 D                  | 30 - 60 D               | x                              |
| D: DIAS               | C: CONTINUO            |                                 | E: EN CASO ESPECIAL    |                         | M: MESES                       |

Nombre de la fuente: GTS Confiabilidad, Programas de Mantenimiento basado en condición.

La decisión de la empresa, en cuanto a realizar el análisis de vibraciones cada dos meses, está relacionada con el poder efectuar un análisis correcto, es decir, comprender los datos y convertirlos en información con la que se pueda actuar para solucionar los inconvenientes detectados.

#### 4.3 Ejecución de la ruta de inspección por análisis de vibraciones.

El servicio de análisis de vibraciones es tercerizado, es decir, Casa Luker contrata una empresa especializada en este tipo de procedimientos, con el fin de garantizar que las actividades de mantenimiento sean cumplidas en su totalidad. Como se mencionó anteriormente, el mantenimiento predictivo reduce el mantenimiento correctivo total y previene la aparición de fallas potenciales en un equipo. El simple hecho de que un equipo presente alguna anomalía, la cual puede estar oculta y que poco a poco se hace presente puede generar una parada inesperada; Casa Luker, siendo una planta de alimentos, cualquier material extraño en el proceso puede incidir directamente y de una forma grave en la inocuidad del producto, por tal motivo, la gran importancia de este tipo de tecnologías para una industria de alimentos puede marcar la diferencia en cuanto a calidad, seguridad y mantenimiento.

Cuando se ejecuta la ruta de inspección por vibraciones mecánicas, es necesario realizar un acompañamiento al personal contratado por dos razones principales, la primera para asegurar que todos los equipos sean inspeccionados y poder obtener el valor de vibración actual de los subsistemas de cada área de trabajo, y en

segundo lugar, garantizar de que no ocurran eventos HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*), el cual es un sistema para prevenir problemas de inocuidad alimentaria. Además, que el análisis de vibraciones se efectúa sobre el equipo operando en condiciones normales, y la gran mayoría de equipos está dentro de la planta, es más factible realizar el acompañamiento del personal y evitar que pase un evento aleatorio por contaminación de producto y afecte la producción del día.

#### 4.4 Interpretación de resultados, con base en la Norma ISO 10816.

Debido a que todos los equipos no son del mismo tamaño, no se pueden evaluar de la misma forma, la Norma ISO 10816 puede caracterizar el valor de la vibración en sus zonas de evaluación, donde se puede clasificar la maquinaria según su potencia y el valor registrado de velocidad por el análisis de vibraciones. En los informes de resultados, el valor de la vibración se evalúa mediante gráficas de tendencia, el cual incluye el valor de vibración actual. Pero muchas veces el valor de tendencia es cero (“.NO MEDIDO”), por tanto, es una medición poco confiable, entonces para validar el estado general de los equipos se tomó la decisión de hacer un comparativo de las últimas dos mediciones del equipo, para luego parametrizar de la siguiente manera:

Tabla 7. Parametrización medición de vibraciones

| NIVELES    | ACTUAL     | RESULTADO     |
|------------|------------|---------------|
| .BUENO     | .BUENO     | MINIMO        |
| .BUENO     | .NO MEDIDO | LEVE          |
| .BUENO     | .TOLERABLE | LEVE          |
| .BUENO     | .ALTO      | CRITICO       |
| .NO MEDIDO | .BUENO     | MINIMO        |
| .NO MEDIDO | .NO MEDIDO | SIGNIFICATIVO |
| .NO MEDIDO | .TOLERABLE | SIGNIFICATIVO |
| .NO MEDIDO | .ALTO      | CRITICO       |
| .TOLERABLE | .BUENO     | MINIMO        |
| .TOLERABLE | .NO MEDIDO | SIGNIFICATIVO |
| .TOLERABLE | .TOLERABLE | LEVE          |
| .TOLERABLE | .ALTO      | CRITICO       |
| .ALTO      | .BUENO     | SIGNIFICATIVO |
| .ALTO      | .NO MEDIDO | CRITICO       |
| .ALTO      | .TOLERABLE | SIGNIFICATIVO |
| .ALTO      | .ALTO      | CRITICO       |

|               |   |
|---------------|---|
| CRITICO       | D |
| SIGNIFICATIVO | C |
| LEVE          | B |
| MINIMO        | A |

Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto.

La Tabla 7, expone la parametrización utilizada para determinar el estado general de la vibración para los equipos rotativos. En la primera columna se muestran los cuatro niveles de advertencia que maneja la empresa que presta el servicio, los niveles están dados a partir del valor que registren las gráficas de tendencia. El nivel

“BUENO”, significa que el equipo está operando en condiciones óptimas y normales; el nivel “.TOLERABLE”, es una advertencia de que algo está ocurriendo con el equipo y que existe la necesidad de realizar seguimiento para impedir que los inconvenientes evolucionen; el nivel “.ALTO”, es el que indica que el equipo está operando en malas condiciones y que es indispensable realizar mantenimiento, para evitar una falla catastrófica que se vería reflejada en costos elevados y pérdidas de producción; por ultimo está el nivel “.NO MEDIDO”, significa que el equipo no estuvo disponible para la medición, a simple vista no genera la suficiente preocupación. Pero nivel “.NO MEDIDO” empieza a tomar gran importancia si su repetitividad es elevada en los equipos, ya que se desconocería realmente el estado de funcionamiento de los mismos.

La segunda columna, muestra todas las posibles combinaciones que puede tomar la vibración de un equipo, y de esta forma poder definir un estado más general de la severidad de la vibración, la cual está definida en la tercera columna. En resumen, la parametrización cumple la función de tener en cuenta el estado del equipo en función del tiempo; con el registro de la medición anterior y la más reciente es posible categorizar los equipos de una forma más efectiva, eliminando los inconvenientes generados con las mediciones de tendencia cuando su valor es cero. Con la nueva categorización, el equipo siempre registrará un estado legible y confiable, con el fin de comunicar al personal de mantenimiento de cada área de trabajo que equipo dentro de la ruta de vibraciones está expuesto a daños posteriores y que equipos presentan una amenaza mínima.

#### **4.4.1 Interpretación de equipos en las zonas de evaluación (gráficas de tendencia)**

Cuando se opta por hacer uso del análisis de vibración en una compañía es para tener el conocimiento de cómo se están comportando los equipos que realizan los procesos. En el estado de resultados, tomando como referencia la parametrización creada, se muestran algunos equipos que consideran los niveles de vibración. Durante la ejecución de la ruta de vibraciones, se evidenciaron los inconvenientes por inspección visual, que a su vez generaron altos nivel de vibración. El estado general se pudo validar con el análisis de tendencia, el cual incluye el comportamiento histórico del equipo hasta el mes de Noviembre del 2016 y las líneas de alarma permisibles de la vibración.

El análisis de tendencia cumple la función de informar y advertir al personal de mantenimiento, el nivel de riesgo y la severidad de la vibración que presenta un equipo. Los valores establecidos en las gráficas, son obtenidos a partir de la empresa que presta el servicio de análisis de vibraciones, por medio del analizador de vibraciones con el que cuentan, siendo este de referencia ROZH 800, el cual tiene gran importancia a la hora de tomar las mediciones, para poder garantizar la repetitividad de información segura. Estos valores son tratados como un promedio de medida entre una zona de advertencia y una zona crítica. En base a Norma ISO

10816 la zona de advertencia está definida en promedio con un valor de 4 mm/s, mientras que la zona crítica está definida en promedio por valores que superen los 7 mm/s. Los valores se utilizan debido a que toda la maquinaria es diferente con respecto a dimensiones y funcionalidad, y resulta un poco exhaustivo clasificar máquina por máquina, entonces se opta por utilizar rangos en los cuales se indique un cambio notable en las características de la vibración.

Si la funcionalidad del equipo es normal, el valor de vibración se ubicará por debajo del primer nivel de advertencia (4 mm/s), siendo esta una forma de validar que el equipo se encuentra en zona de evaluación “A”.

Para el segundo caso, si el valor de la vibración llegase a registrar un poco por encima del primer nivel advertencia, el equipo registraría un cambio en sus características de monitoreo, pero no significa que se tenga que detener, por tanto, el equipo se encontraría en zona de evaluación “B”.

En el tercer caso, el valor de la vibración debe estar entre los dos niveles de advertencia, casi llegando al segundo nivel (7 mm/s), lo cual se considera una vibración por encima de lo normal. Se permite que el equipo continúe en operación pero se tiene una alerta de que el inconveniente encontrado puede evolucionar en el tiempo, dando como resultado un registro en la zona de evaluación “C”.

Por último la evaluación en “D”, el valor de la vibración supera los dos niveles de advertencia, siendo este superior a los 7 mm/s establecidos, lo que indica que es una vibración que puede afectar el equipo en general o sus componentes internos. La recomendación que se hace cuando los equipos se encuentran en esta zona, es operar el equipo con precaución, mientras se programa la intervención por parte del área de mantenimiento.

#### **4.4.1.1 Niveles de vibración en Barth**

En el área de Barth, se tienen en cuenta con varios equipos monitorizados por análisis de vibraciones, los cuales son fundamentales para la limpieza del cacao, pero bajo las condiciones a las que trabajan los equipos, su mantenimiento es más detallado con respecto a las demás por lo que es un área grande. En base al análisis realizado y al uso de la parametrización fue posible identificar cuatro equipos en cada nivel de vibración, siendo más importantes en la clasificación “D”, ya que son equipos críticos y que su fallo puede afectar una parte fundamental del área de trabajo dando paso a una parada inesperada.

En la zona de tostión se inspeccionó uno de los equipos principales de la empresa, siendo este el motor del Tostador, el cual se encontraba en buenas condiciones, por tanto su evaluación fue “A”. En la trilladora, el quebrantador #2 con respecto a la medición anterior hubo un pequeño incremento en la vibración y se debe que estaba mal posicionado, lo cual hacía que tuviera pequeños movimientos por falta de

fijación a la base, no muy fue significativo y por tanto su evaluación fue “B”. En el área de limpieza se registró un sinfín de alimentación, este tenía un defecto en el acople, lo cual causaba que entre el eje y el acople existiera holgura o “Juego” y permitía que el sinfín tuviera movimientos relativamente bruscos, su evaluación bajo el estándar lo clasifico en “C”. En el infrarrojo (IR) se encontró que el ventilador de combustión presentaba desalineación en las poleas y estas estaban chocando con las partes internas del mismo, lo que género que la vibración del equipo fuera elevada y se clasificara en el nivel “D”.

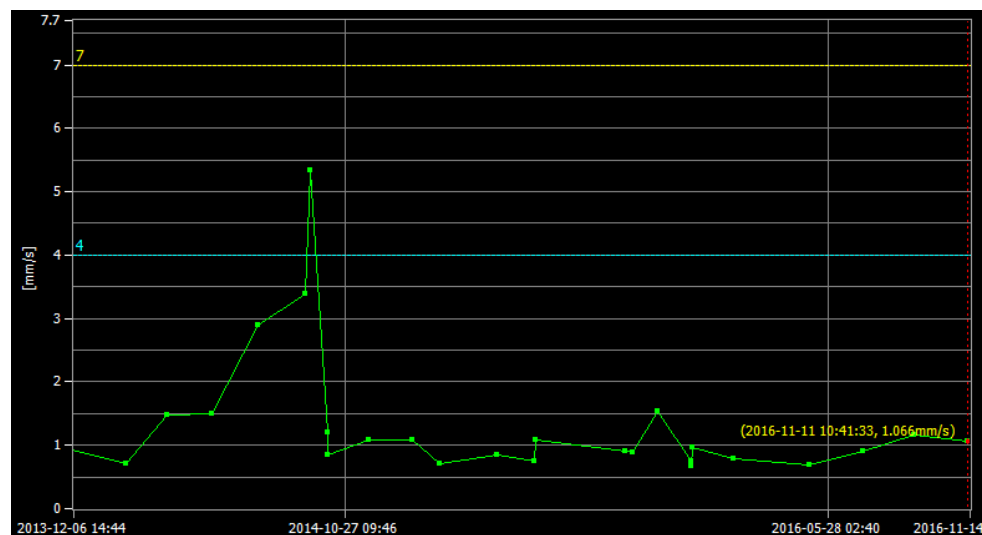
En Las Figuras 17 a 20 se muestra la validación de la evaluación con el análisis de tendencia, el cual incluye el comportamiento histórico y los límites permisibles para los cuatros equipos seleccionados. Los límites permisibles establecidos, están en función de la Norma ISO 10816, además que están parametrizados por la empresa prestadora del servicio de análisis de vibraciones.

Tabla 8. Equipos seleccionados en Barth

| BARTH             |                            |             |               |           |                 |
|-------------------|----------------------------|-------------|---------------|-----------|-----------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA | Nombre del Equipo          | NORMA       | CLASIFICACIÓN | N. FIGURA | ZONA EVALUACIÓN |
| <b>TOSTADOR</b>   | Motor Ppal Tostador        | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 17 | <b>A</b>        |
| <b>TRILLADORA</b> | Quebrantador #2            | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 18 | <b>B</b>        |
| <b>LIMPIEZA</b>   | M.Cadena de alimentación   | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 19 | <b>C</b>        |
| <b>IR</b>         | Ventilador aire combustión | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 20 | <b>D</b>        |

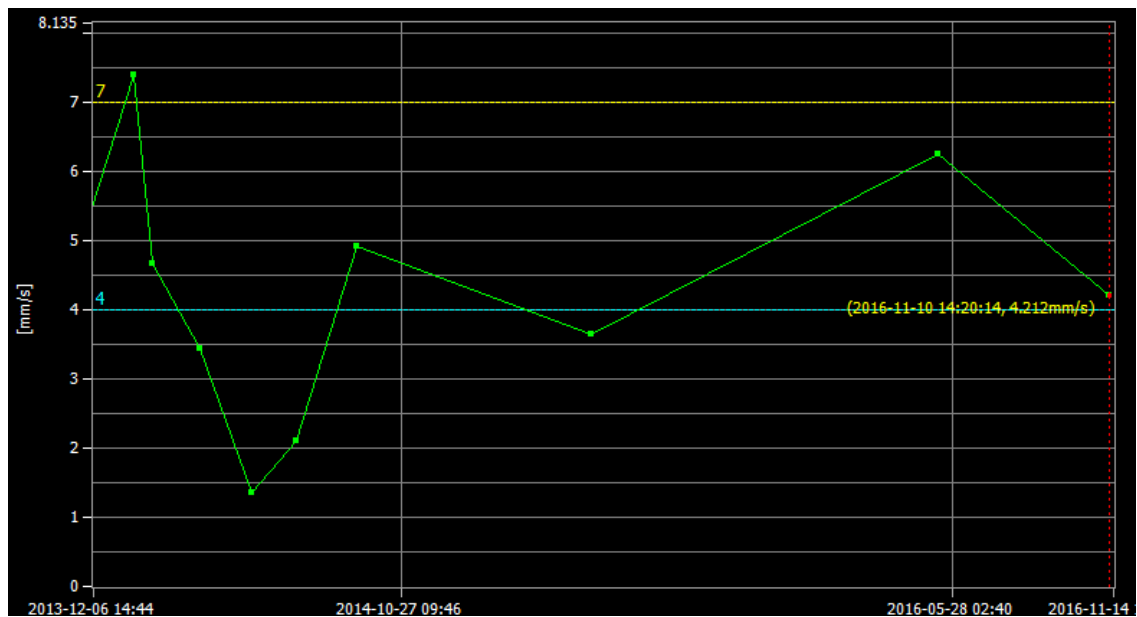
Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

Figura 17. Análisis de tendencia Motor principal del Tostador en Barth (A).



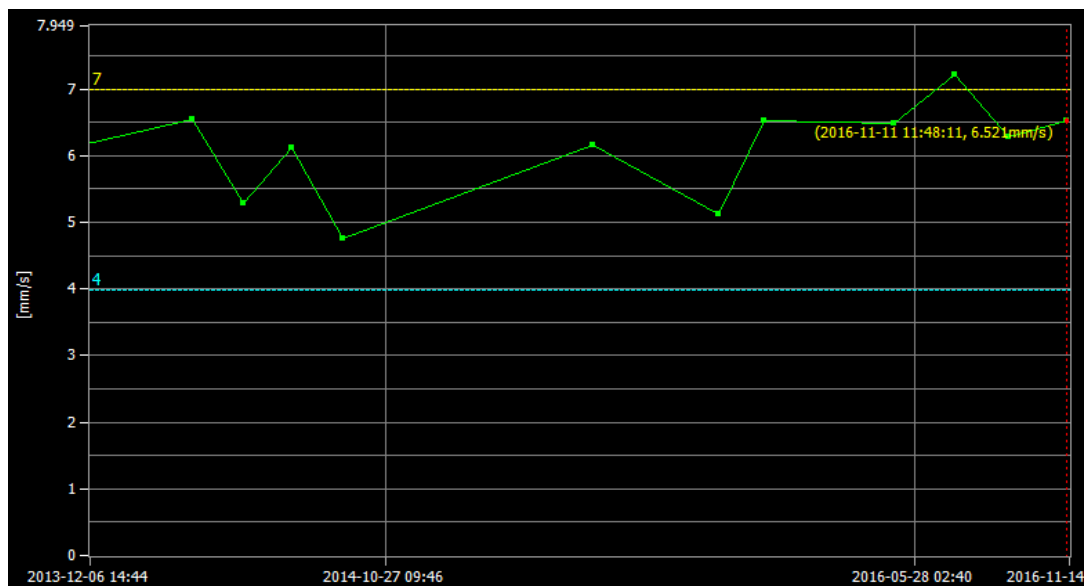
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 18. Análisis de tendencia Motor Quebrantador #2 en Barth (B).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 19. Análisis de tendencia Motor Cadena de alimentación en Barth (C).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 20. Análisis de tendencia Motor Ventilador aire combustión en Barth (D).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

#### 4.4.1.2 Niveles de vibración en Molienda

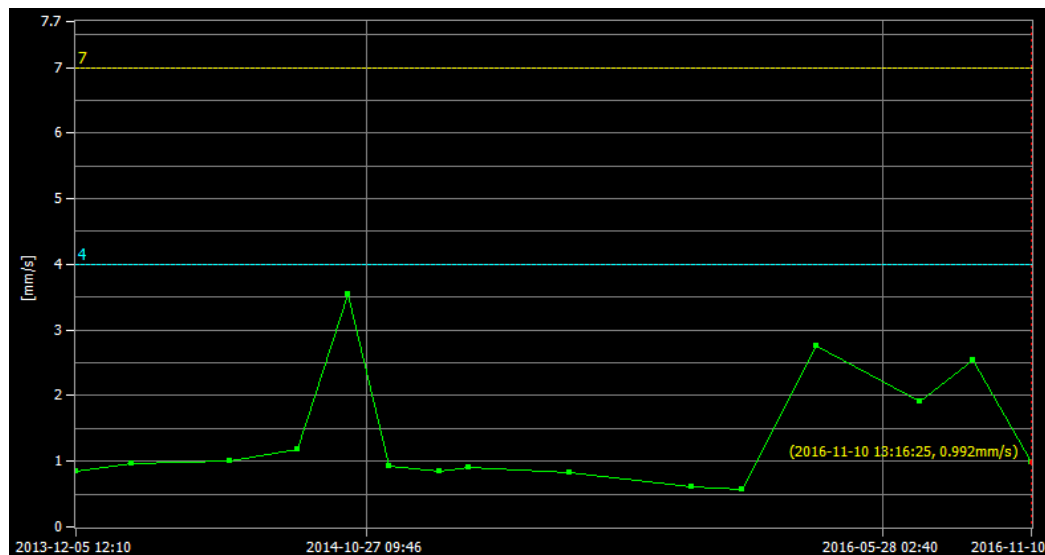
En el área de Molienda y Prensado, los casos con elevadas vibraciones se registraron en los molinos principales de esta zona. El molino de bolas #1, registraba ruidos fuera de lo normal, además se evidenciaba que el eje conducido por el motor estaba presentando cierto movimiento fuera de su línea de acción, lo que indicaba un desalineamiento entre el acople y el eje. Por otro lado, en el Molino Nibrotón, durante el acompañamiento de las mediciones, se observó que las correas de la transmisión no estaban totalmente tensionadas, por lo cual el nivel de vibración era un poco elevado en comparación de las inspecciones realizadas en los meses anteriores. Para validar el estado y la evaluación de los equipos se muestra el análisis de tendencia en las Figura 21 a 24.

Tabla 9. Equipos seleccionados en Molienda y prensado.

| MOLIENDA-PRENSA   |                            |             |               |           |                    |
|-------------------|----------------------------|-------------|---------------|-----------|--------------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA | NOMBRE DEL EQUIPO          | NORMA       | CLASIFICACIÓN | N. FIGURA | ZONA DE EVALUACION |
| PRENSA            | Quiebra tortas prensa      | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 21 | A                  |
| PRENSA            | Sinfín salida rompedor     | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 22 | B                  |
| WIENER 1          | Motor Ppal Molino Bolas 1  | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 23 | C                  |
| NIBROTON          | Motor Ppal Molino Nibroton | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 24 | D                  |

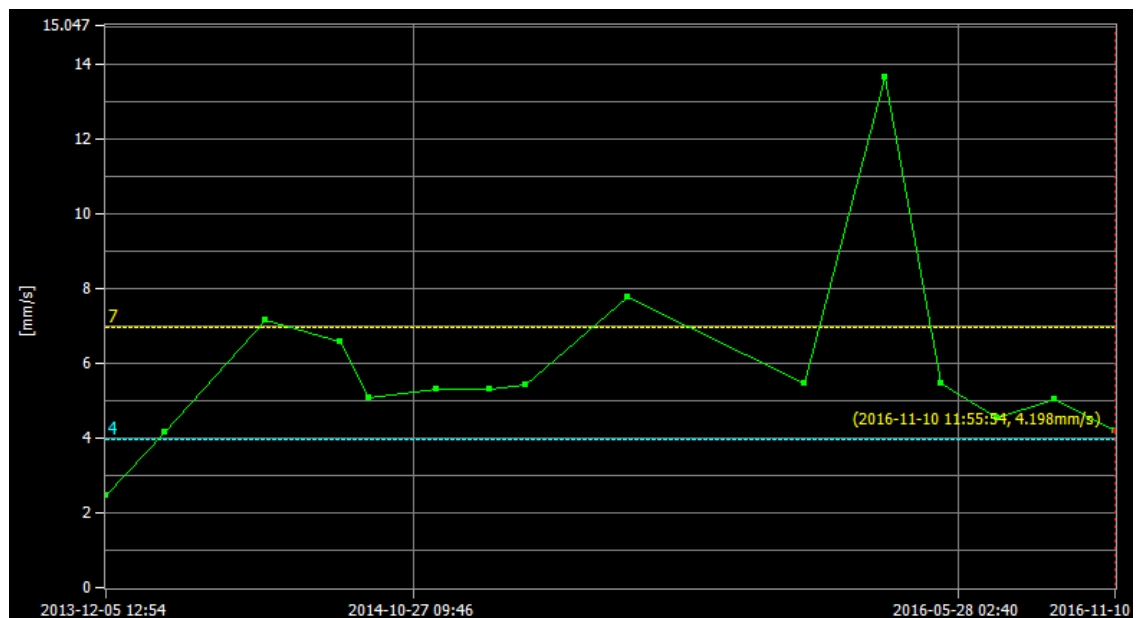
Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

Figura 21. Análisis de tendencia Motor Quiebra Tortas en Molienda (A).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 22. Análisis de tendencia Sinfín Rompedor en Molienda (B).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 23. Análisis de tendencia Motor principal Molino de Bolas 1 en Molienda (C).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 24. Análisis de tendencia Motor Principal Nibrotón en Molienda (D).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

#### 4.4.1.3 Niveles de vibración en Gráneles

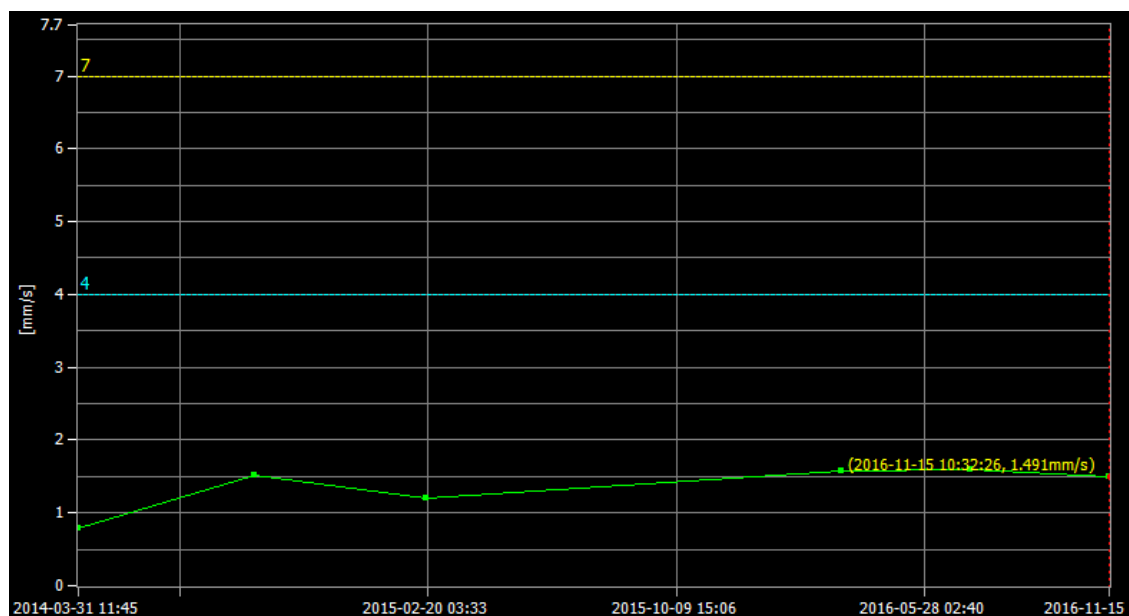
El área de gráneles se subdivide en dos zonas, la primera es el pulverizador que es el área principal de productos en polvos, donde se identificaron dos equipos con un buen nivel de vibración y su evaluación tuvo un registro en niveles “A” y “B”. Mientras tanto el equipo denominado Alfíl o “desinfectador”, se evidenció que tenía exceso de producto en polvo, lo cual generaba un peso extra en los alabes de su ventilador y producía ruidos extraños en los arranques, la solución que se planteó fue limpiar el equipo con más frecuencia. La segunda subdivisión es en el instantaneizador o Instant, en este lugar también se hace productos en polvo pero se realizan bajo condiciones especiales de temperatura, en este lugar se encontró el motor que hace el proceso de mezclado, sin tornillería que lo anclara a su respectiva base, lo cual permitía que el motor tuviera pequeños desplazamientos en el lugar.

Tabla 10. Equipos seleccionados en cocoas y gráneles.

| COCOAS Y GRANELES |                   |             |               |           |                    |
|-------------------|-------------------|-------------|---------------|-----------|--------------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA | NOMBRE DEL EQUIPO | NORMA       | CLASIFICACIÓN | N. FIGURA | ZONA DE EVALUACIÓN |
| ROVEMA            | Rovema #2         | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 25 | A                  |
| MESPACK           | Transmisión       | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 26 | B                  |
| MESPACK           | Alfill            | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 27 | C                  |
| INSTANT           | Mezclador Instant | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 28 | D                  |

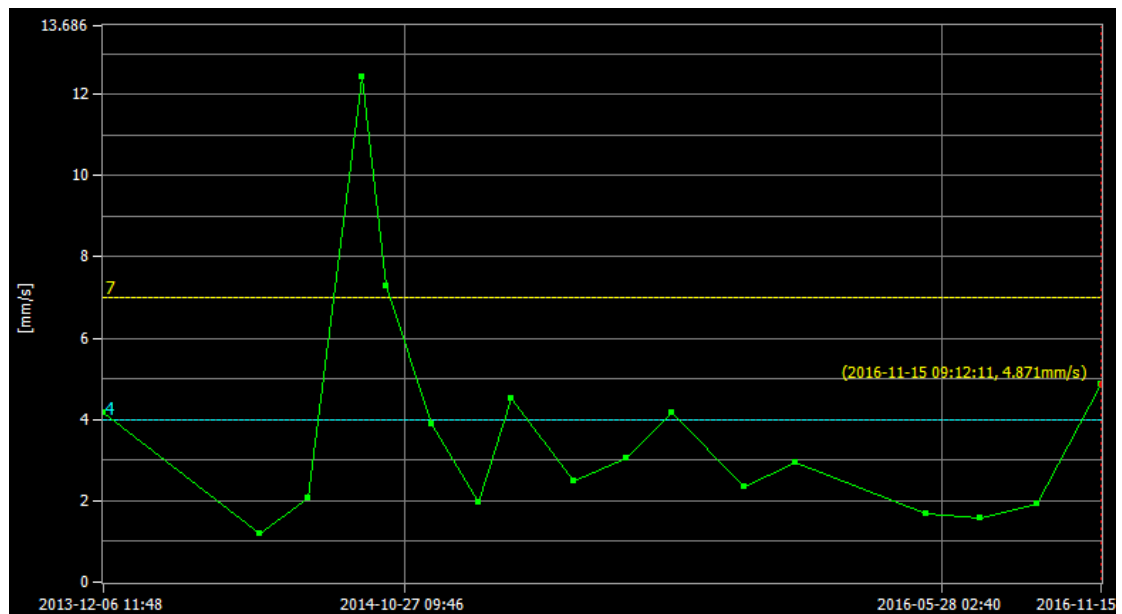
Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

Figura 25. Análisis de tendencia Motor Rovema # 2 en Gráneles (A).



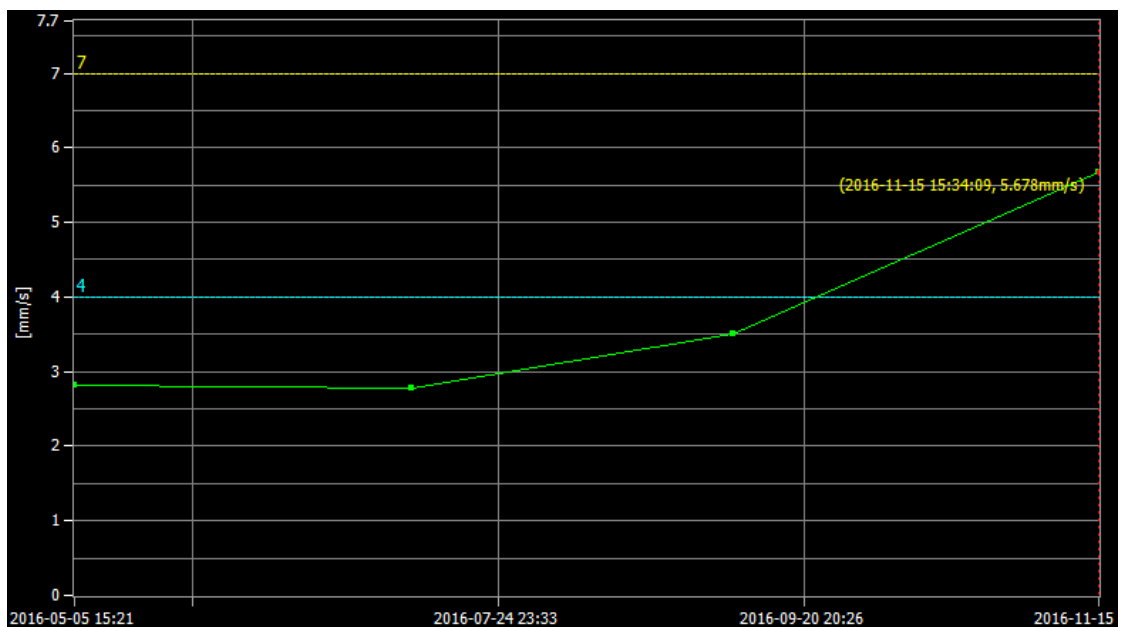
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 26. Análisis de tendencia Motor Transmisión Mespach en Gránulos (B).



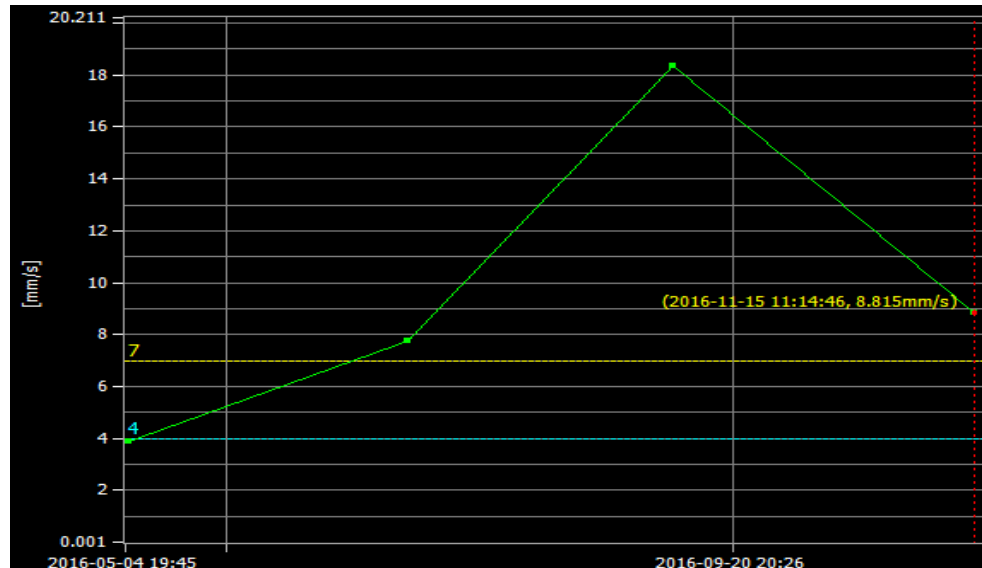
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 27. Análisis de tendencia Motor Alfill en Gránulo (C).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 28. Análisis de tendencia Motor Mezclador Instant en Gráneles (D).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto

#### 4.4.1.4 Niveles de vibración en Bühler

En Bühler, los casos más representativos fueron en la sección de adición de ingredientes. El primero se encontró en el compresor que distribuye el azúcar para esta zona, además de eso se encontró acumulación de producto al interior del compresor, lo cual generaba ruidos extraños. En los pisos superiores, se encuentran unos silos de ingredientes o ventiladores que mueven los ingredientes para su posterior mezclado, pero de igual manera que en el pulverizador la polución es relativamente alta, debido a que se manejan productos en polvo como, azúcar, leche y lecitina, estos dejan residuos y se pegan a los álabes y ocasiona que en el ventilador se genere un peso extra dentro del mismo.

Tabla 11. Equipos seleccionados en Bühler o conchado.

| BUHLER            |                                 |             |               |           |                    |
|-------------------|---------------------------------|-------------|---------------|-----------|--------------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA | NOMBRE DEL EQUIPO               | NORMA       | CLASIFICACIÓN | N. FIGURA | ZONA DE EVALUACION |
| CONCHADO          | Motor Mixer                     | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 29 | A                  |
| TANQUES           | Hidroflow concha #2             | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 30 | B                  |
| INGREDIENTES      | Ventilador adición ingredientes | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 31 | C                  |
| INGREDIENTES      | Compresor ad. de ingredientes   | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 32 | D                  |

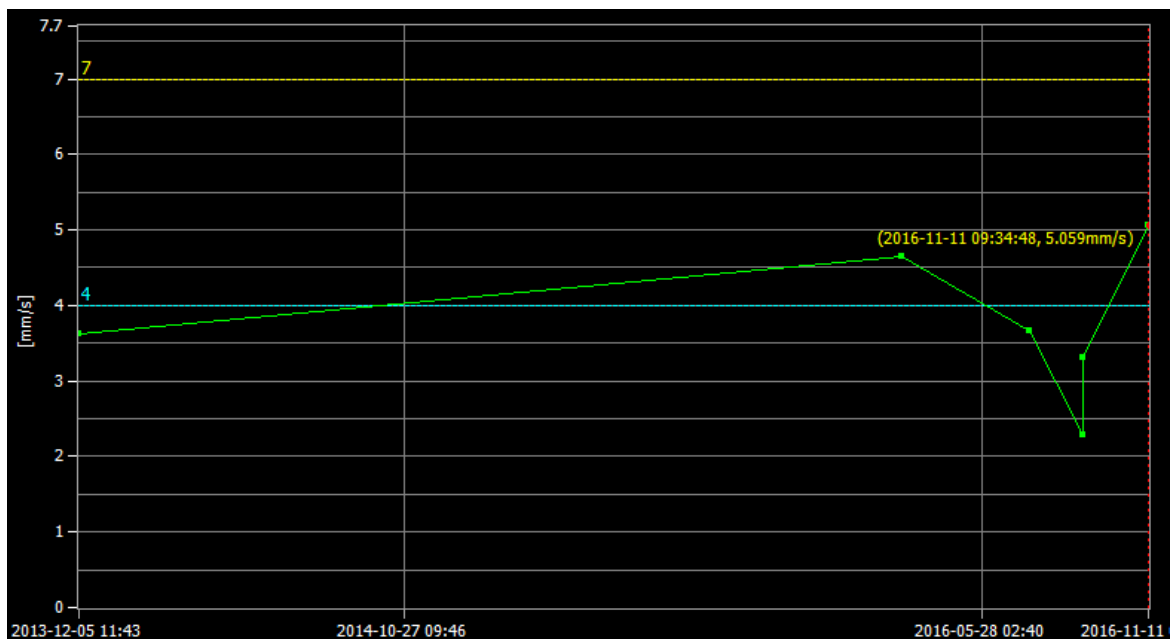
Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

Figura 29. Análisis de tendencia Motor Mixer en Bühler (A).



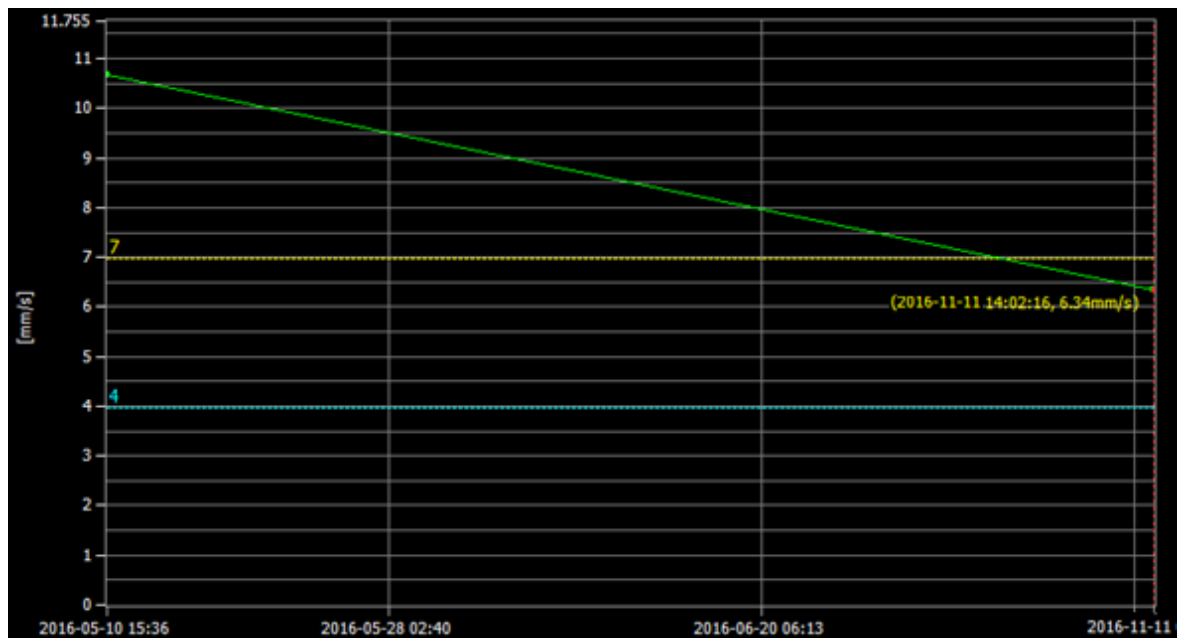
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto

Figura 30. Análisis de tendencia Motor Mixer en Bühler (B).



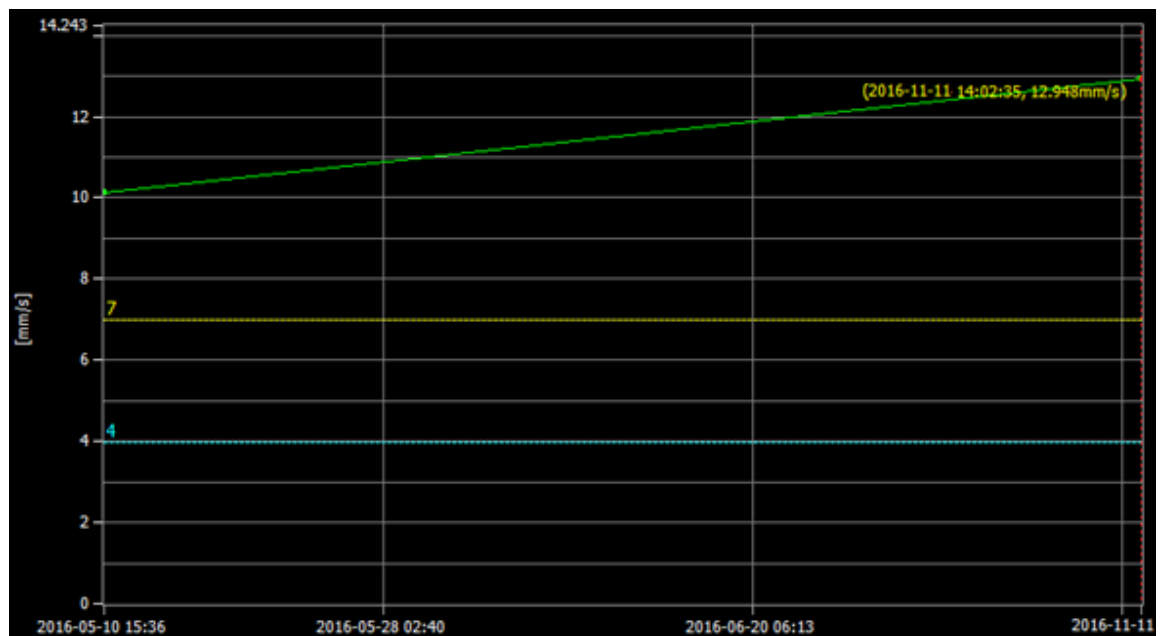
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 31. Análisis de tendencia Motor Mixer en Bühler (C).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto

Figura 32. Análisis de tendencia Motor Mixer en Bühler (D).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto

#### 4.4.1.5 Niveles de vibración en Chocolates

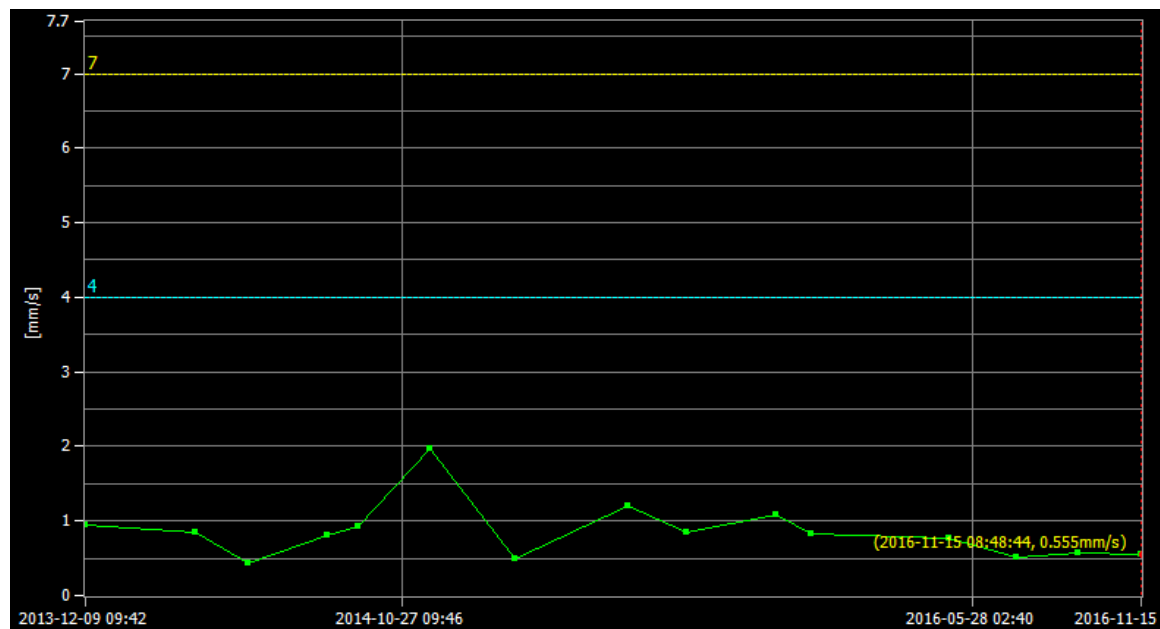
En el área de chocolates, se evidencio en los motores de atemperado del chocolate, que les hacía falta anclarlos de forma correcta a la base y esta misma ajustarla al piso, para evitar movimiento innecesarios por parte del equipo. Por otro lado, el inconveniente más crítico se registró en los sinfines verticales de alimentación, estos han mostrado en sus históricos problemas internos, que no solo se registra en la vibración, sino que también se evidencia ruidos extraños al interior. Si llegase a pasar algo, directamente repercutiría en los ingresos de la empresa, ya que son los encargados de llevar el producto a las inyectoras de chocolate y estas a los moldes.

Tabla 12. Equipos seleccionados en chocolates.

| CHOCOLATES        |                              |             |               |           |                    |
|-------------------|------------------------------|-------------|---------------|-----------|--------------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA | NOMBRE DEL EQUIPO            | NORMA       | CLASIFICACIÓN | N. FIGURA | ZONA DE EVALUACIÓN |
| CREME 600         | Motor Creme 600              | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 33 | A                  |
| CAVEMIL 1         | Compresor Mycom              | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 34 | B                  |
| SUPER CAVEMIL     | Motor atemperado #7          | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 35 | C                  |
| SUPER CAVEMIL     | Sinfín Vertical atemperado 7 | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 36 | D                  |

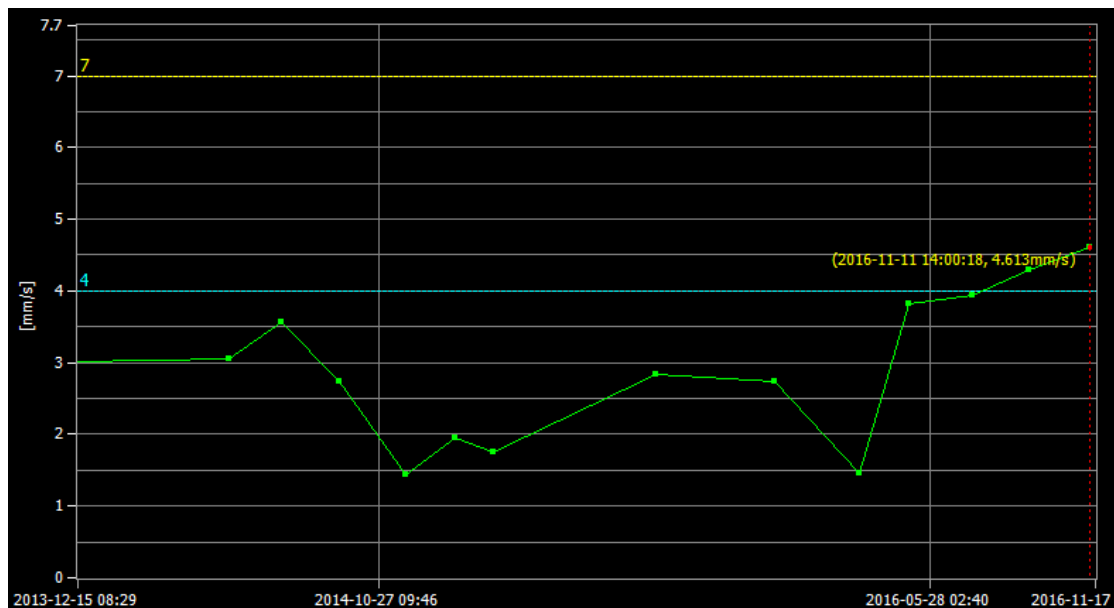
Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

Figura 33. Análisis de tendencia Motor Creme 600 en Chocolates (A).



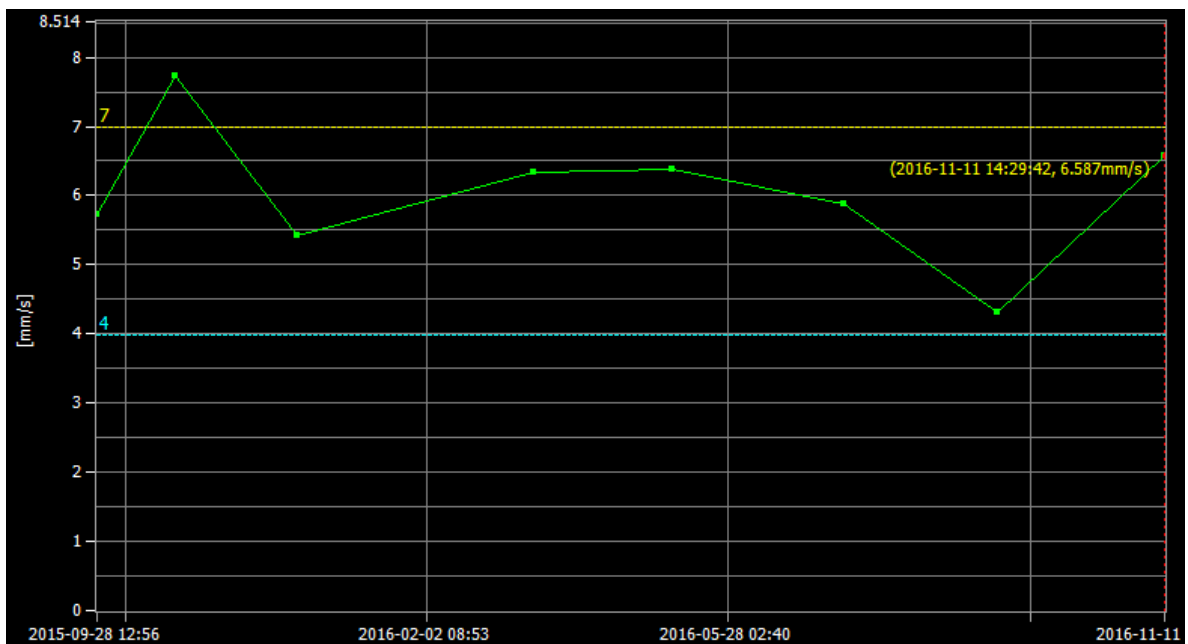
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 34. Análisis de tendencia Motor Compresor Mycom en Chocolates (B).



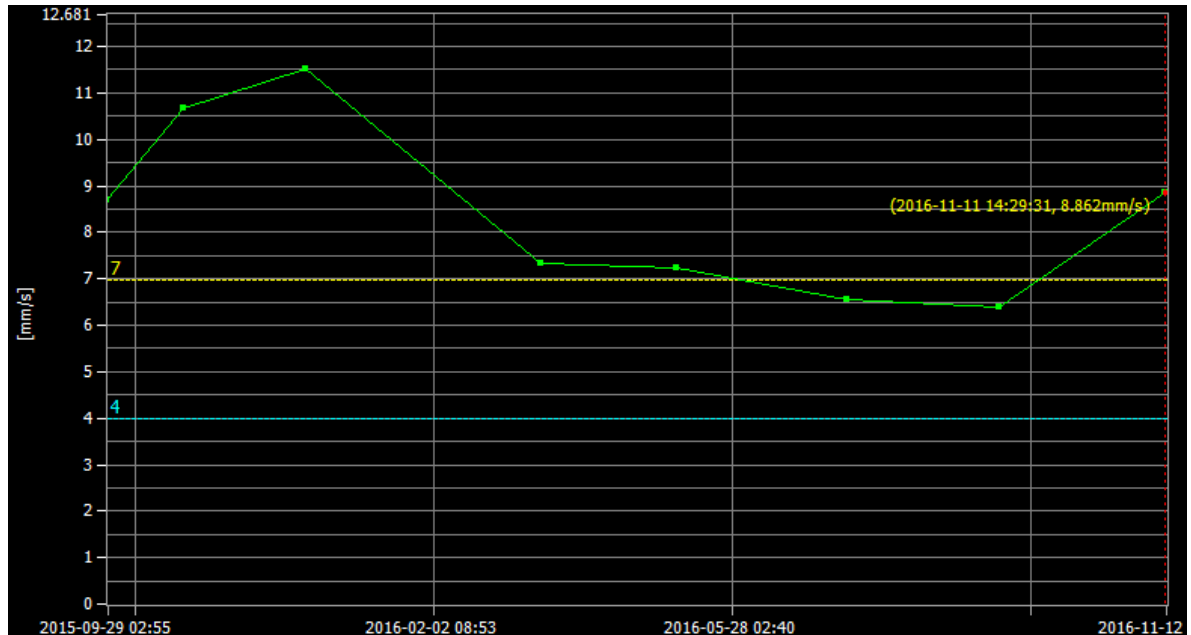
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto

Figura 35. Análisis de tendencia Motor Atemperado # 7 en Chocolates (C).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto

Figura 36. Análisis de tendencia Sinfín Vertical atemperado # 7 en Chocolates (D).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

#### 4.4.1.6 Niveles de vibración en Servicios Industriales

En servicios industriales, es un área de trabajo que está presente en toda la compañía, y es la encargada de transportar fluidos a cierta temperatura para que se puedan realizar todos los procesos, y es fundamental garantizar el funcionamiento de estos equipos para evitar averías que afecten las demás áreas. El caso más representativo de esta área, fue la Bomba auxiliar de agua tibia, que se encarga de llevar el agua para el calentamiento de tuberías al interior de la planta, se registró alto en vibraciones, debido a que la bomba no está completamente anclada al piso y es un equipo relativamente grande y tiende a moverse en el lugar.

Tabla 13. Equipos seleccionados en servicios industriales

| SERVICIOS INDUSTRIALES |                       |             |               |           |                    |
|------------------------|-----------------------|-------------|---------------|-----------|--------------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA      | NOMBRE DEL EQUIPO     | NORMA       | CLASIFICACIÓN | N. FIGURA | ZONA DE EVALUACIÓN |
| CALDERAS               | Bomba Caldera         | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 37 | A                  |
| TORRES                 | B.Principal Torres    | ISO 10816-3 | GRUPO II      | FIGURA 38 | B                  |
| CHILLER                | B.Chiller Carrier #2  | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 39 | C                  |
| AGUA INDUSTRIAL        | B.Auxiliar agua tibia | ISO 10816-1 | GRUPO I       | FIGURA 40 | D                  |

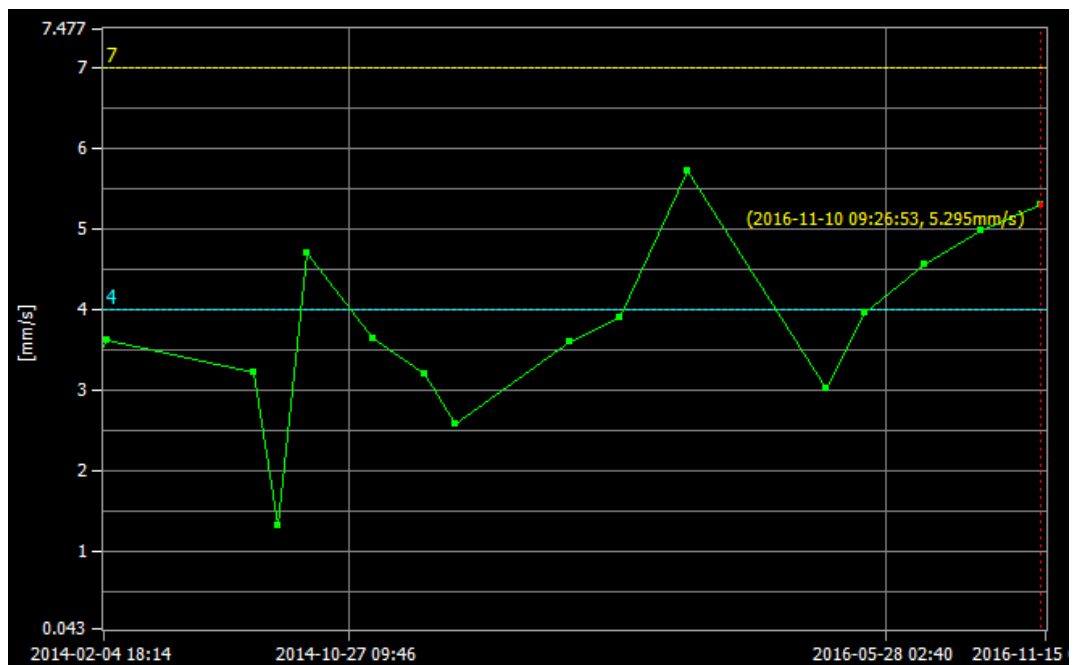
Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

Figura 37. Análisis de tendencia Bomba calderas en Servicios Industriales (A).



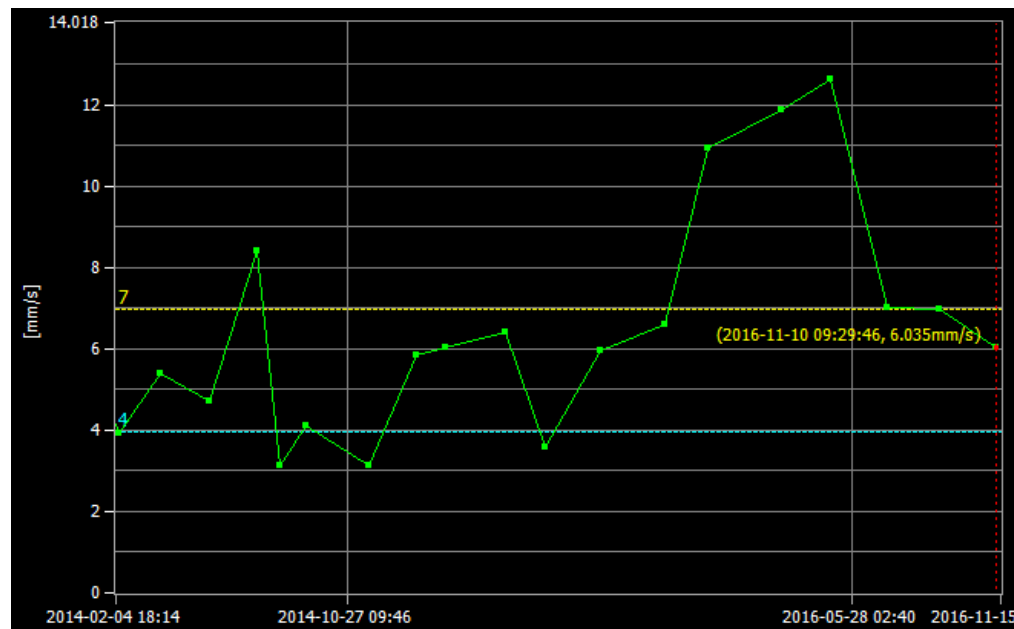
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 38. Análisis de tendencia Bomba Principal Torres Servicios Industriales (B).



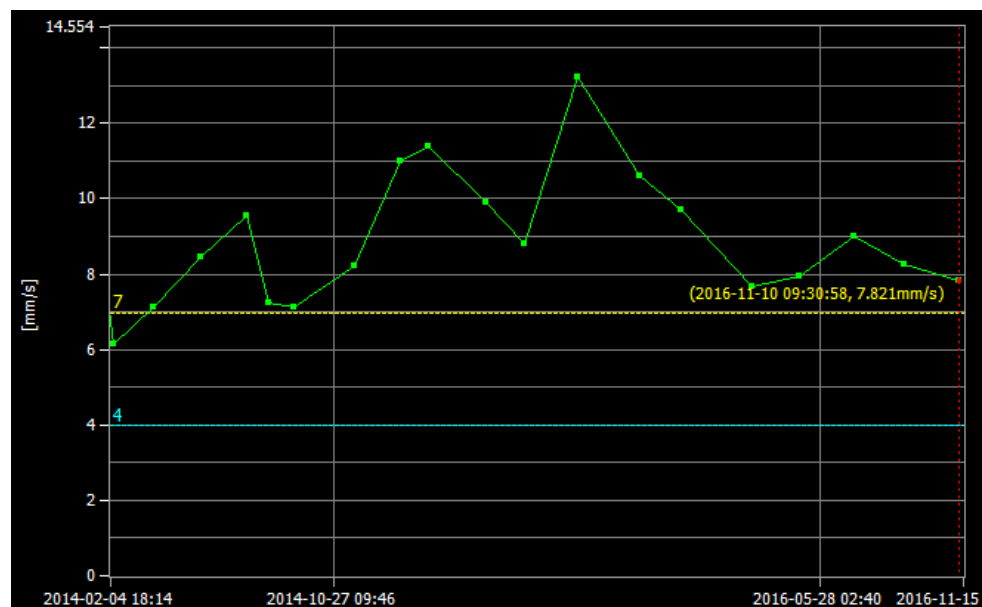
Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 39. Análisis de tendencia Bomba Chiller Carrier #2 Servicios Industriales (C).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

Figura 40. Análisis de tendencia Bomba auxiliar agua tibia Servicios Industriales (D).



Nombre de la Fuente: IEC Ingeniería- Autor del Proyecto.

En resumen, los problemas que se identificaron por inspección visual en cada área de trabajo, se asocian al exceso de suciedad, ajustes de los equipos, o una revisión que permita ver el estado general de componentes internos. Pero, el verdadero problema recae en si existe el tiempo para atenderlos, debido a que si llegasen a evolucionar pueden tener un impactos graves dentro de la planta, generando avería en los equipos y posiblemente una parada inesperada, la cual se vería reflejada en los costos que la empresa tendría que asumir para la solución de problemas.

#### **4.5 Generación de la matriz de criticidad teniendo en cuenta el análisis de vibraciones.**

Para determinar el nivel de criticidad de un área de trabajo se debe tener en cuenta una serie de factores, que indican como se están comportando con respecto a: frecuencia en fallas, impacto y flexibilidad operacional, mantenimiento, impactos de seguridad como ambientales y un factor adicional es el estado general del equipo en base a los resultados del análisis de vibraciones. Con el fin de incluir áreas que contengan equipos en niveles peligrosos evitando que tengan una evolución a futuro y puedan afectar algún proceso interno dentro de la empresa. Además de permitir tener claro cuales áreas de trabajo son necesarias para realizar una inversión económica y la intervención por parte del departamento de mantenimiento.

El desarrollo de criticidad, se abordara en todas las áreas de trabajo con el fin de conocer cual área necesita más atención. Por lo general las áreas grandes de la compañía se les efectúan un buen mantenimiento, pero la idea es tener un plano general del comportamiento de las subdivisiones de cada área de trabajo.

A continuación, se muestra un formato de evaluación, el cual fue diseñado en colaboración con los jefes de área, este formato trae la descripción de cada ítem para poder darle una valoración específica, con el fin de poder clasificar las áreas de trabajo y optimizar la asignación de recursos disponibles por parte de ingeniería y mantenimiento de Casa Luker S.A.

Tabla 14. Formato para la evaluación de criticidad de las áreas de trabajo.

| Casa Luker S.A                                                                           |       | Área de Trabajo                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Frecuencia de Fallas                                                                     |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gravedad                                                                                 | Valor | Se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año, en caso de no contar con esta información utilizar base de datos genéricos (SAP).                                                                                          |
| Pobre mayor a 2 fallas/año                                                               | 4     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Promedio 1 - 2 fallas/año                                                                | 3     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Buena 0.5 - 1 fallas/año                                                                 | 2     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Excelente menos de 0,5 fallas/año                                                        | 1     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Impacto Operacional                                                                      |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gravedad                                                                                 | Valor | Se define a la consecuencia que genera la falla en el equipo, al disminuir o para totalmente puede afectar factores como lo son producción, calidad, inventario o funcionalidad del equipo.                                                                                         |
| Pérdida Total de funcionamiento                                                          | 4     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas de la línea        | 3     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Impacto en inventario o calidad                                                          | 2     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción                     | 1     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Flexibilidad Operacional                                                                 |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gravedad                                                                                 | Valor | Esta flexibilidad se define con la capacidad que se tiene en el momento de reemplazar o cambiar un elemento del equipo esté disponible o no; esto puede generar que la parada sea esporádica o por el contrario sea mucho más extensa a causa de un recurso del cual no se dispone. |
| Arranca el equipo pero se demora por complejidad de repuestos                            | 3     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Hay opción de repuesto de externo                                                        | 2     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Función de repuesto disponible en el almacén                                             | 1     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Costo de Mantenimiento                                                                   |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gravedad                                                                                 | Valor | Es el costo que se le debe da al equipo ene le momento que es intervenido de imprevisto y se refiere a la mano de obra con la que se encuentra si es externa o interna.                                                                                                             |
| Mantenimiento externo                                                                    | 2     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Mantenimiento interno                                                                    | 1     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene                                                 |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gravedad                                                                                 | Valor | En el caso de una parada imprevista cómo reacciona este equipo frente a su entorno y las personas que está a su alrededor ya que este es una de los entes a medir más importantes porque afecta directamente la vida humana y el medio ambiente.                                    |
| Afecta la seguridad humana, requiere la notificación a entes externos de la organización | 5     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Afecta el ambiente /instalaciones                                                        | 4     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Afecta las instalaciones causando daños severos                                          | 3     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Provoca daños menores (ambiente - seguridad)                                             | 2     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente                   | 1     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Niveles de vibración generales                                                           |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gravedad                                                                                 | Valor | Es el nivel de vibración que presenta un equipo e indirectamente afecta las áreas de trabajo, ya que si su valor es crítico puede generar una parada al equipo y posterior a la línea de producción.                                                                                |
| Afecta la integridad del área de trabajo                                                 | 4     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Representa una avería, pero se puede seguir trabajando                                   | 3     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| La mayoría de equipos funciona en condiciones normales                                   | 2     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Representa una amenaza mínima                                                            | 1     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Nombre de la Fuente: Casa Luker- Autor del proyecto.

#### 4.5.1 Calculadora de criticidad.

La metodología de función de la calculadora de criticidad, radica en el formato de la Tabla 14, con la cual se hace una evaluación general bajo todos los parámetros establecidos por los jefes de sección de Casa Luker S.A. La lectura del formato debe hacerse en orden, para cada sección de evaluación debe seleccionarse el valor que se considere o relacionado con la situación actual.

El cálculo que se maneja internamente para determinar la criticidad del área es el siguiente:

El primer paso es seleccionar la frecuencia de fallas de las que se tienen registro en el sistema de gestión de la empresa (SAP). Esta frecuencia tiene una escala de calificación que se evalúa de uno a cuatro dependiendo del caso de estudio.

$$\text{Frecuencia de Fallas} = (\text{seleccionar en la escala de 1 a 4, segun sea el caso}) \quad [2]$$

El segundo paso, es seleccionar un valor dependiendo de la gravedad que se esté presentado en al área de trabajo.

$$\text{Consecuencia por parametros} = IO + FO + CM + IHSEQ + NV \quad [3]$$

Donde:

- *IO = Impacto operacional*
- *FO = Flexibilidad operacional*
- *CM = Costo de Mantenimiento*
- *IHSEQ = Impacto de Seguridad, Ambiente, Salud y Calidad*
- *NV = Nivel General de vibraciones*

El cálculo de la criticidad Total (CT) de un sistema está dado siguiente ecuación:

$$CT = (\text{Frecuencia de fallas}) * (\text{Consecuencia de parametros}) \quad [1]$$

Con el valor de criticidad obtenido, se determina que áreas de trabajo son las más importantes a la hora de intervenir los equipos, con el fin de optimizar y asegurar la asignación de recursos necesarios.

En la Tabla 14, se muestra un ejemplo del uso de la calculadora de criticidad. El ejemplo describe un sistema ideal con calificaciones de valor uno en cada uno de los parámetros. Siendo de la siguiente manera:

- *Frecuencia de Fallas = 1*
- *Consecuencia por parametros = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5*

Ahora bien, conociendo la frecuencia de fallas y la suma de todos las consecuencias por parámetros o impactos, se procede a cruzar los valores y la ubicación será la criticidad total, además hay que tener en cuenta el código de colores para poder clasificar de una forma correcta. Entonces:

$$CT = (Frecuencia \text{ de fallas}) * (Consecuencia \text{ de parametros})$$

$$- \text{ Criticidad Total} = 1 \times 5$$

$$- \text{ Criticidad Total} = 5$$

La criticidad total para este sistema fue de un total de 5, y en base al código de colores, el sistema se encontraría fuera de amenazas que lo puedan afectar a futuro.

Tabla 15. Evaluación de criticidad para un sistema ideal.

| CALCULADORA DE CRITICIDAD  |   |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|---|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Frecuencia de fallas       | 1 |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto Operacional        | 1 |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flexibilidad               | 1 |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Costo de mantenimiento     | 1 |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto en HSEQ            | 1 |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nivel de vibración General | 1 |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Consecuencia               | 5 |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CRITICIDAD TOTAL           | 5 | No Crítico |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Frecuencia

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

Impacto

|   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Criticidad Alta (A) color rojo  $50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$

Criticidad Media (B) color amarillo  $30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$

Criticidad Baja (C) color verde  $5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

#### 4.5.1 Criticidad en Barth.

La criticidad en el área de Barth, en función de los parámetros evaluados, resulto con una criticidad media, y eso indica que el área está trabajando de forma correcta, tiene sus momentos de avería, pero sus problemas son de soluciones rápidas y que permite que los equipos tengan un buen desempeño durante el proceso de limpieza y extracción de material extraño de la materia prima.

Tabla 16. Evaluación de criticidad para el área de Barth-Limpieza.

| CALCULADORA DE CRITICIDAD  |    |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|----|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Frecuencia de fallas       | 4  |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto Operacional        | 4  |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flexibilidad               | 2  |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Costo de mantenimiento     | 1  |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto en HSEQ            | 1  |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nivel de vibración General | 3  |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Consecuencia               | 11 |                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CRITICIDAD TOTAL           | 44 | Medianamente crítico |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

#### 4.5.2. Criticidad en Molienda y prensado.

Con respecto al área de molienda y prensado, el nivel de criticidad obtuvo valores medios, aunque existían equipos con alto grado de vibración, se determinó que está se debe a que los equipos de esa zona tienden a vibrar, transmitiendo la vibración a través de la estructura, haciendo que lo que se capte y se analice no sea la vibración natural, sino agentes de operación. Por tal motivo, el análisis de criticidad estuvo en niveles tolerables, ya que para esta área el mantenimiento en general es detallado con respecto a la limpieza de equipos, lo que garantiza que el área de trabajo está operando correctamente.

Tabla 17. Evaluación de criticidad para el área de Molienda y prensa.

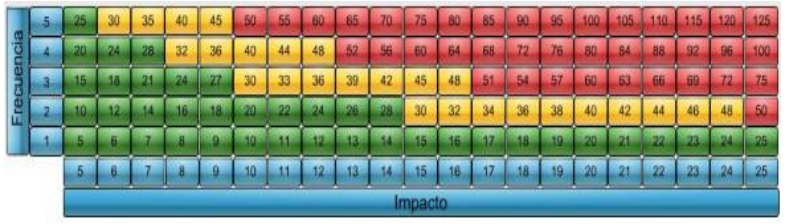
| CALCULADORA DE CRITICIDAD  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Frecuencia de fallas       | 4  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto Operacional        | 3  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flexibilidad               | 1  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Costo de mantenimiento     | 1  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto en HSEQ            | 1  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nivel de vibración General | 2  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Consecuencia               | 8  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CRITICIDAD TOTAL           | 32 | Medianamente Crítico                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

#### 4.5.3 Criticidad en Gráneles.

La criticidad en gráneles resulto media, y se debe más que todo por el entorno de trabajo, como se había mencionado anteriormente, esta área de trabajo tiene bastante polución, lo que puede causar problemas de respiración en los operarios y posiblemente podría causar un accidentes ya que el polvo recae en el suelo, y hace que este se vuelva deslizante, y son cosas que se pueden corregir y mejorar, con la instalación de extractores de polución, para que el área no se vea comprometida con algún incidente.

Tabla 18. Evaluación de criticidad para el área de Gráneles.

| CALCULADORA DE CRITICIDAD  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Frecuencia de fallas       | 4  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto Operacional        | 4  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flexibilidad               | 2  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Costo mantenimiento        | 1  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto en HSEQ            | 2  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nivel de vibración General | 2  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Consecuencia               | 11 |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CRITICIDAD TOTAL           | 44 | Medianamente Crítico                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

#### 4.5.4 Criticidad en Bühler

Esta área de trabajo resultó crítica, debido a que hubo varios equipos altos en vibraciones, y cuando se calificó esa categoría, se tomó en cuenta de que el área de trabajo está operando con equipos que pueden estar cerca de una falla funcional, si llegase a pasar esto acarrearía gastos elevados en reparaciones, debido a que la mayoría de repuestos son de origen extranjero. Es recomendable realizar los mantenimientos asociados con limpieza y revisiones generales para evitar inconvenientes a futuro.

Tabla 19. Evaluación de criticidad para el área de Bühler.

| CALCULADORA DE CRITICIDAD  |    |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|----|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Frecuencia de fallas       | 4  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto Operacional        | 4  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flexibilidad               | 2  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Costo de mantenimiento     | 2  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto en HSEQ            | 2  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nivel de vibración General | 3  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Consecuencia               | 13 |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CRITICIDAD TOTAL           | 52 | Crítico |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



Criticidad Alta (A) color rojo  $50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$   
 Criticidad Media (B) color amarillo  $30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$   
 Criticidad Baja (C) color verde  $5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

#### 4.5.5 Criticidad en Chocolates.

En chocolates, los resultados fueron críticos debido a los altos niveles de vibración que presentan los equipos, en especial los sinfines de alimentación que conectan con las inyectoras, si estos llegasen a averiarse, los índices de producción bajarían y por tanto bajarían las ganancias que entran a la compañía. Una de las recomendaciones fue revisar el estado general del equipo y si es el caso hacer cambio de componentes internos, con el fin de evitar la falla funcional y gastos innecesarios.

Tabla 20. Evaluación de criticidad para el área de chocolates.

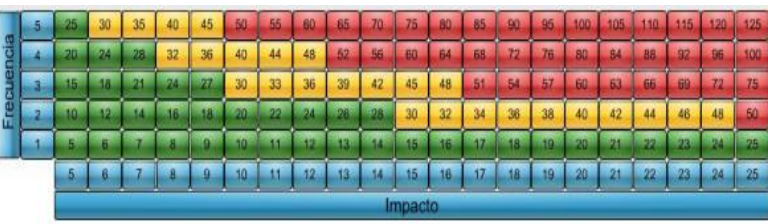
| CALCULADORA DE CRITICIDAD  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Frecuencia de fallas       | 4  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto Operacional        | 4  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flexibilidad               | 3  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Costo de mantenimiento     | 1  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto en HSEQ            | 1  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nivel de vibración General | 4  |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Consecuencia               | 13 |                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CRITICIDAD TOTAL           | 52 | Crítico                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

#### 4.5.6 Criticidad en Servicios industriales.

En servicios industriales, los resultados fueron medianamente críticos, debido a que este tipo de equipos son fundamentales para la compañía, hay que garantizar que estén operando en condiciones normales ya que permiten que todos los sistemas al interior funcionen y se refrigeren de una manera correcta, la desventaja que se tiene con respecto al área, es que si llegase a averiar alguna bomba, no hay reemplazo inmediato, lo cual los mantenimientos suelen ser más prolongados para recuperar la funcionalidad. Pero en general, el área de servicios está operando sin presentar problemas representativos que afecten las demás áreas.

Tabla 21. Evaluación de criticidad para el área de servicios industriales.

| CALCULADORA DE CRITICIDAD  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Frecuencia de fallas       | 4  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto Operacional        | 4  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Flexibilidad               | 2  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Costo de mantenimiento     | 1  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Impacto en HSEQ            | 1  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nivel de vibración General | 2  |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Consecuencia               | 10 |                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CRITICIDAD TOTAL           | 40 | Medianamente Crítico                                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

#### **4.5.7 Optimización de asignación de recursos para las áreas críticas.**

De acuerdo al análisis realizado, las áreas de trabajo que resultaron críticas, fueron el área de Chocolates y Bühler. En chocolates, la asignación de recursos hizo énfasis en reforzar el mantenimiento de algunos equipos que se registraron altos en vibraciones. Por ejemplo el mantenimiento de los sinfines de alimentación de las inyectoras de chocolate, los cuales se desarmaron y se cambiaron varios componentes internos, lo que permitió la identificación de nuevos repuestos que no se tenían en stock, como lo fueron rodamientos de diferentes referencias y bandas de transporte de grado alimenticio, con el fin de utilizarlos cuando el equipo los necesite y no esperar a tener una parada y detener la producción por falta de programación.

En Bühler, al ser una de las áreas más grandes de la empresa, la asignación de recursos se reflejó en la capacitación del personal con respecto a la maquinaria con la que cuenta el área de trabajo, además de poder designar una persona encargada de realizar rondas de inspección a los equipos altos en vibración, para poder tener un control total del área.

En general, los recursos (económicos, humanos y técnicos), que se atribuyeron a las áreas críticas, permitirán que se mejore el estado actual de la empresa, con respecto a evitar problemas o inconvenientes que se puedan presentar de manera espontánea. Y prestar más atención a las anomalías ocultas identificadas por el seguimiento de una variable física, para poder garantizar la mayor disponibilidad posible en cada área de trabajo.

#### **4.6 Indicador de cumplimiento en base a las órdenes de trabajo de estilo predictivo.**

Después de la entrega de resultados por la empresa que se encarga de efectuar el servicio de monitoreo de condición, se procede a la generación de órdenes de trabajo por parte de cada jefe de sección de la empresa, estas órdenes se generan en SAP, donde se indica quien es la persona encargada y el tipo de trabajo que debe realizarse.

El sistema de Gestión que se tiene en Casa Luker, acobija indicadores de disponibilidad general, mantenimientos correctivos y preventivos. Pero, no existía un control adecuado con respecto al mantenimiento predictivo y su control al interior de la compañía. Entonces se realizó la propuesta del seguimiento de las ordenes de trabajo para ver el cumplimiento de las mismas, además de tener una base de datos frente a la inversión del monitoreo de condición con el que cuenta la empresa y determinar si se están aprovechando correctamente los recursos en el departamento de mantenimiento.

#### 4.6.1 Procedimiento de seguimiento de órdenes de trabajo.

Para realizar el seguimiento de las órdenes de trabajo, se debe acceder a SAP-PM por la transacción IW39, la cual permite ver las órdenes generadas en todo el sistema de mantenimiento.

Figura 41. Ventana de usuario para seleccionar el tipo de orden.

Visualizar órdenes PM: Selección de órdenes PM

Receptor de liquidación RRP

Visualizar órdenes predictivos

Status orden

☒ Pendiente ☒ En tratam. ☐ concluido ☐ Hist. Esq.selec. Dr. X

Selección de órdenes

| Orden | Clase de orden | Ubicación técnica | Equipo | Material | Número de serie | Dat.adic.disposit. | Aviso | Pto.tbjo.responsable | Ce.p.pto.trabajo |
|-------|----------------|-------------------|--------|----------|-----------------|--------------------|-------|----------------------|------------------|
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |
|       |                |                   |        |          |                 |                    |       |                      |                  |

Nombre de la Fuente: SAP PM

En el recuadro "Clase de Orden", se introduce "ZA04" las cuales son referentes al mantenimiento predictivo y clic en visualizar

Figura 42. Tipos de órdenes generadas en SAP

Clase de orden (1) 23 Entradas encontradas

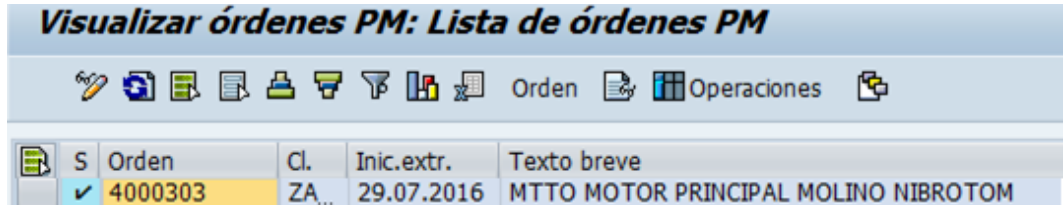
Restricciones

| CL   | Denominación                      |
|------|-----------------------------------|
| ZA01 | Orden de Mantenimiento Correctivo |
| ZA02 | Orden de Mantenimiento Programado |
| ZA03 | Orden de Mantenimiento Preventivo |
| ZA04 | Orden de Mantenimiento Predictivo |
| ZA05 | Orden Restaurativa                |
| ZA06 | Orden de Renovación               |
| ZA07 | Orden de Calibración              |

Nombre de la Fuente: SAP PM

La orden de trabajo que se tomó como ejemplo, fue la orden que se generó por un equipo alto en vibración en la sección 9.4.1.2, siendo este el Motor Principal del Molino Nibrotón

Figura 43. Orden de trabajo tomado del área de Molienda y prensado.



| S | Orden   | Cl.   | Inic.extr. | Texto breve                          |
|---|---------|-------|------------|--------------------------------------|
| ✓ | 4000303 | ZA... | 29.07.2016 | MTTO MOTOR PRINCIPAL MOLINO NIBROTOM |

Nombre de la Fuente: SAP PM

Se selecciona la orden para poder acceder a toda la información relacionada con este tipo de orden, por ejemplo: los servicios y/o operaciones, encargado y personal pendiente para autorizar el trabajo. Esta orden, a su vez generó una solicitud de pedido, la cual hace de intermediaria entre la empresa y un servicio tercerizado, con el fin de solucionar el problema que se había identificado anteriormente, el cual estaba relacionado con el estado, ajuste y tensión de correas.

Figura 44. Trabajos contratados para solucionar el inconveniente.



| Op.  | SOp | PstoTbjo | Ce... | Cl... | Clv.mod | E.. | Txt.br.v.operación                       | TE |
|------|-----|----------|-------|-------|---------|-----|------------------------------------------|----|
| 0030 |     | ELTROM08 | PL01  | PM03  |         |     | SERVICIO ALINEACIÓN LASER CORREAS NIBROT |    |

Nombre de la Fuente: SAP PM

Para que el trabajo programado en el sistema de gestión sea efectuado, debe pasar por una serie de aprobaciones de jefes de área y jefes generales para que la solicitud de pedido tenga validez y fondos para contratar el servicio.

Figura 45. Ventana de aprobaciones del servicio por la empresa.

| Cód. | Denominación            | Responsable          | Est... |
|------|-------------------------|----------------------|--------|
| ZZ   | 50000075 - Comprad...   | Comprador            | ✓      |
| I0   | 50000750 - Jefe Mant... | Jefe Seccion Man...  | ✓      |
| E3   | 50000248 - Jefe Mant... | Jefe de Manteni...   | ✓      |
| EO   | 50000239 - Dir Ing M... | Director de Ingen... | ✓      |

Nombre de la Fuente: SAP PM

Para concretar que los trabajos se hayan efectuado en cierto periodo, el proceso debe registrar las siguientes posiciones:

- Reparto
- Entrada Mercancía
- Recepción de facturación
- Entrada de actividad

Si la orden de trabajo cumple con estos parámetros, cumple con los requisitos para pasar del estado de “Pendientes” a “Concluido”.

Figura 46. Posiciones para asegurar el cumplimiento de la orden de trabajo.

| Tat.Ldo. | Doc.compr. | Pos. | Descrip.breve    | Cantidad | U. |
|----------|------------|------|------------------|----------|----|
| Pedido   | 3000039438 | 10   | Reparto          | 1        | UN |
|          |            |      | Entrada merc...  | 1        | UN |
|          |            |      | 1-               | 1        | UN |
|          |            |      |                  | 1        | UN |
|          |            |      | Recepción fact.  | 1        | UN |
|          |            |      | Entrada de acti. | 1        | UN |
|          |            |      |                  | 1        | UN |

Nombre de la Fuente: SAP PM

Dentro del módulo, se puede visualizar todos los movimiento o transacciones que se le hayan hecho a la orden de trabajo, por ejemplo se puede ver si la orden está en proceso, si ya se efectuó o si generó alguna solicitud de pedido para poder atenderla. Además, las ordenes de trabajo se clasifican según el tipo de trabajo que

se debe efectuar, ya que se programan en función de horas, y no es lo mismo efectuar un trabajo mecánico que un trabajo de limpieza, debido a que el tiempo que se demora en llevar a cabo la orden de trabajo es muy diferente, el cual se debe cumplir y que este dentro del rango de la programación dada.

Para gestionar a partir de las órdenes de trabajo fue necesario crear una base de datos en Excel, el cual permitiera clasificar las órdenes de trabajo bajo las siguientes condiciones:

- Fecha de emisión de la orden de trabajo.
- Ubicación técnica.
- Cumplimiento de la orden.
- Equipo general al que se carga la orden de trabajo.
- Tipo de trabajo.
- Texto descriptivo del trabajo.
- Posibles recomendaciones de mantenimiento.

El uso de Excel en vez de SAP fue necesario, ya que la base de datos en Excel permite visualizar todas las ordenes de trabajo predictivas junto con los parámetros establecidos, con el fin de definir el estado de la orden, la cual esta categorizada en “PENDIENTE” o “CONCLUIDO”,

Por motivos de confidencialidad hacia la empresa y la extensión de la lista, no se puede mostrar toda la base de datos, pero en la Tabla 21 se muestra algunos datos con las condiciones de cómo fue creada esta.

Tabla 22. Base de datos creada.

| Orden   | MES   | CUMPLIMIENTO | UBICACIÓN TÉCNICA | EQUIPO GENERAL          | TIPO DE TRABAJO | Texto breve                                 | RECOMENDACIONES                |
|---------|-------|--------------|-------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------------|--------------------------------|
| 4000249 | MAYO  | CONCLUIDO    | BARTH             | SEPARADORA              | MECANICO        | REVISION BASE MOTORREDUCTOR SINFIN          | AJUSTAR BASE DEL MOTOR         |
| 4000250 | MAYO  | CONCLUIDO    | BARTH             | DENSIMETRICA            | MECANICO        | BALANCEO DINAMICO DENSIMETRICA              | BALANCEO DE VENTILADOR         |
| 4000251 | MAYO  | CONCLUIDO    | BARTH             | INFRARROJO              | MECANICO        | ASEGURAR BASE VENTILADOR GASES IR           | FIJAR BASE DEL MOTOR           |
| 4000252 | MAYO  | CONCLUIDO    | BARTH             | TOSTADOR                | MECANICO        | MANTENIMIENTO MOTOR COMBUSTION TOSTADOR     | MANTENIMIENTO GENERAL          |
| 4000253 | MAYO  | CONCLUIDO    | BARTH             | TOSTADOR                | MECANICO        | MTTO MOTOR RECIRCULACION AIRE TOSTADOR      | MANTENIMIENTO GENERAL          |
| 4000254 | MAYO  | CONCLUIDO    | BARTH             | TRILLADORA              | MECANICO        | ROOTS MOTOR QUEBRANTADOR GRANDE W 400       | CAMBIO DE RODAMIENTOS          |
| 4000255 | MAYO  | CONCLUIDO    | BUHLER            | ADICION DE INGREDIENTES | MECANICO        | MTTO LIMPIEZA MT-BU-60                      | LIMPIEZA DE VENTILADOR         |
| 4000256 | MAYO  | CONCLUIDO    | BUHLER            | ADICION DE INGREDIENTES | MECANICO        | MTTO POLVO CACAO MT-BU-53                   | LIMPIEZA DE VENTILADOR         |
| 4000257 | MAYO  | CONCLUIDO    | BUHLER            | ADICION DE INGREDIENTES | MECANICO        | MTTO MT-BU-58 LECHE ENTERA                  | LIMPIEZA DE VENTILADOR         |
| 4000258 | MAYO  | CONCLUIDO    | CHOCOLATES        | CAVEMIL 1               | PROGRAMACION    | REVISION-MEDICION ALINEACION LASER CAVI     | ALINEACION MOTOR               |
| 4000259 | MAYO  | CONCLUIDO    | COCCAS            | HOSOKAWA                | PROGRAMACION    | REVISION-MEDICION ALINEACION LASER HOSOKAWA | ALINEACION LASER               |
| 4000260 | MAYO  | CONCLUIDO    | COCCAS            | ROVEMA 1                | PROGRAMACION    | REVISION-MEDICION ALINEACION LASER ROVEMA 1 | ALINEACION LASER               |
| 4000282 | JULIO | CONCLUIDO    | CHOCOLATES        | SUPERCHEMIL 800         | PROGRAMACION    | ALINEACION MOT-RED ATEMPERADORA 7           | ALINEACION MOTOR ATEMP LASER 7 |
| 4000283 | JULIO | CONCLUIDO    | CHOCOLATES        | SUPERCHEMIL 800         | PROGRAMACION    | ALINEACION MOT-RED ATEMPERADORA 8           | ALINEACION MOTOR ATEMP LASER 8 |
| 4000284 | JULIO | CONCLUIDO    | CHOCOLATES        | SUPERCHEMIL 800         | PROGRAMACION    | ALINEACION MOT-RED ATEMPERADORA 9           | ALINEACION MOTOR ATEMP LASER 9 |

Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto.

La base de datos, está diseñada para almacenar informacion relevante que después permita caracterizar y visualizar de una forma más sencilla a través de una tabla dinámica en Excel. Esta base de datos tiene el histórico del año 2016, con el que se evalúan los trabajos realizados, y posterior a eso el indicador de cumplimiento para cada área de trabajo.

Después de la base de datos se crea una tabla dinámica, la cual permite clasificar el tipo de trabajo, el mes y el cumplimiento de cada trabajo, además de poder descomponer el sistema de la empresa en todos los subsistemas que la componen.

Figura 47. Tabla Dinámica elaborada para categorizar áreas y trabajos asociados

|    |                          |         |                           |
|----|--------------------------|---------|---------------------------|
| 1  | TIPO DE TRABAJO          | (Todas) | ▼                         |
| 2  | MES                      | (Todas) | ▼                         |
| 3  | CUMPLIMIENTO             | (Todas) | ▼                         |
| 4  |                          |         |                           |
| 5  | Etiquetas de fila        | ▼       | Cuenta de Fe.inic.extrema |
| 6  | ⊕ BARTH                  |         | 27                        |
| 7  | ⊕ BUHLER                 |         | 19                        |
| 8  | ⊕ CHOCOLATES             |         | 27                        |
| 9  | ⊕ COCOAS                 |         | 9                         |
| 10 | ⊕ MOLIENDA               |         | 12                        |
| 11 | ⊕ SERVICIOS INDUSTRIALES |         | 6                         |
| 12 | Total general            |         | 100                       |

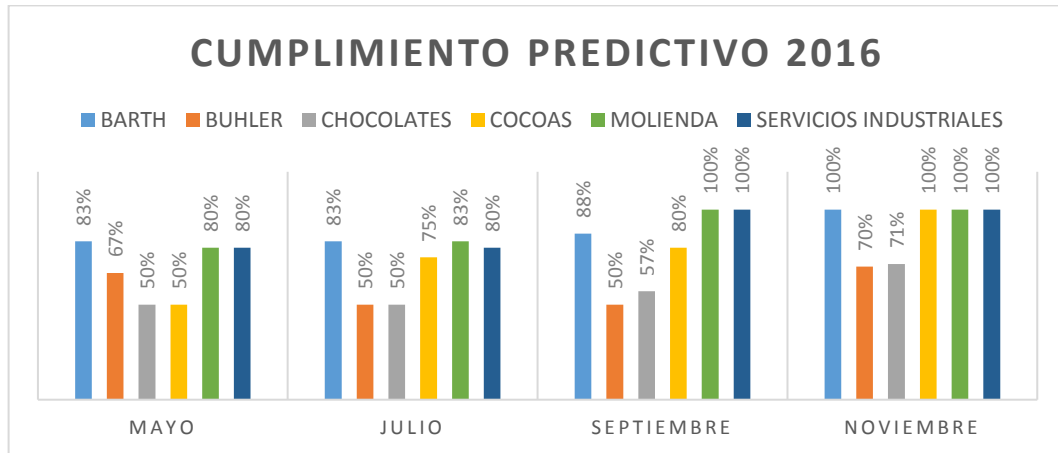
Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto.

#### 4.6.2 Cumplimiento de las órdenes de trabajo por vibraciones mecánicas.

Con este sistema es posible ver el estado de cumplimiento para las ordenes de trabajo del mantenimiento predictivo, la cuales se determinaron con la ecuación [6], y de esta manera poder calcular el indice de cumplimiento mes a mes, con el fin de conocer cuales son las lineas en las que hay mas pendientes, teniendo en cuenta el mismo indicador y el analisis de criticidad previamente realizado.

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{\text{órdenes ejecutadas}}{\text{órdenes generadas}} \quad [5]$$

Figura 48. Comportamiento de las órdenes en función del tiempo (mes).



Nombre de la Fuente: Autor del proyecto.

El formato completo de cumplimiento de trabajos para cada área de trabajo (ver anexo C)

El comportamiento de áreas de trabajo a principio del año fueron bastantes variables con respecto al cumplimiento del mantenimiento predictivo, en el mes de Mayo se empezó a evidenciar problemas en Bühler, Chocolates y Molienda, por lo que su índice de atención a los problemas era menor que las demás áreas y esto se debió a que surgían mantenimientos prioritarios por parte de los demás métodos de mantenimiento, es decir, por mantenimientos preventivos y correctivos. En el mes de Julio los problemas detectados por parte del análisis de vibraciones eran iguales que en el mes de Julio, es decir, al presentar los mismos problemas se pasaban por alto hasta que hubiese una parada programada para atender los equipos por mantenimiento, por tal motivo se tomaba la decisión de dejar en funcionamiento los equipos pero con la diferencia de que hay conciencia de una alerta preliminar ; dos cambio notables en este mes fue el área de Bühler y Molienda, por un lado el indicador de Bühler bajo debido a que se incluyeron más equipos a la ruta de vibraciones, mientras que en Molienda subió, porque se programó un mantenimiento especial a un equipo principal, que incluyó limpieza y cambio de repuestos, con el fin de tener el equipo en disponibilidad completa.

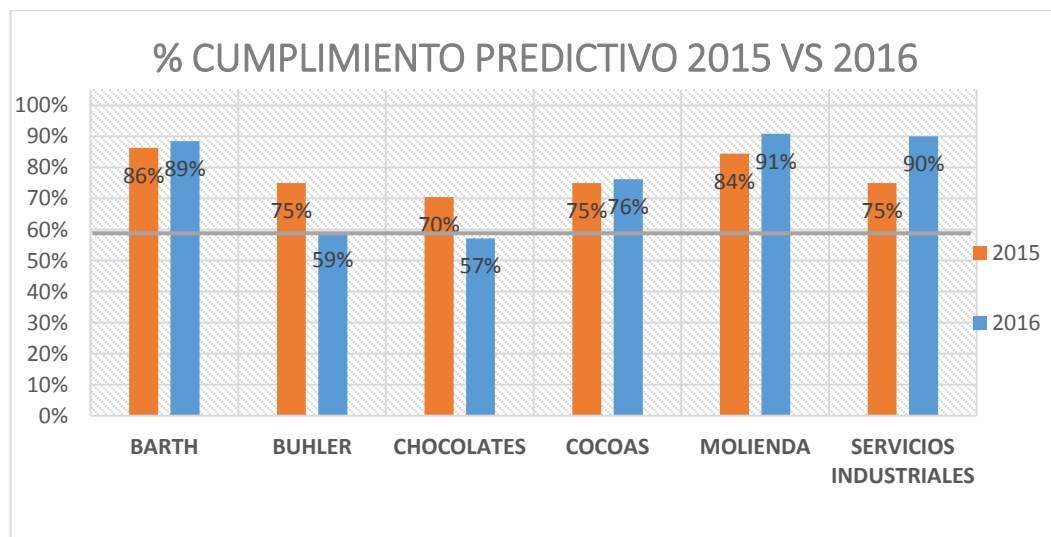
En los meses de Septiembre y Noviembre los indicadores de cumplimiento tuvieron un aumento significativo con respecto a los meses anteriores, puesto que se tenía conocimiento de los trabajos atrasados y eran indispensables efectuarlos, no solo para el indicador de cumplimiento sino también para garantizar que los equipos no fueran a presentar molestias en un futuro y tuviera repercusiones en producción.

El seguimiento se verificó al final de la semana, lo cual dio como resultado un aumento del indicador de cumplimiento. La mayoría de áreas quedó en un 100%, con la excepción de áreas como Chocolates y Bühler, debido que la cantidad de equipos y el tamaño del área de trabajo hace difícil cubrir en su totalidad la cantidad

de trabajos a efectuar. Pero, en la Figura 48, se nota un aumento en el cumplimiento del área de chocolates (barra gris), desde el mes de mayo hasta el mes de Noviembre, quedando este en un 71% en comparación a un 50% que se tenía inicialmente.

Realizando un promedio o balance entre el año 2015 y 2016, se obtienen valores generales de cumplimiento de los dos años. El punto de referencia de los indicadores de cumplimiento para el mantenimiento predictivo se definió por encima del 60%, con el criterio de generar una cierta alarma que indique cuales áreas están pendientes para ser atendidas por parte de ingeniería y mantenimiento. En pocas palabras, más de la mitad de las órdenes de trabajo se deben llevar a cabo con el fin de garantizar que la inversión que se hace inicialmente para la contratación del servicio se está aprovechando de una manera adecuada. Durante el proceso, la utilización de herramientas como el análisis de criticidad que hace parte del mantenimiento basado en confiabilidad permitió realizar un seguimiento al cumplimiento de órdenes de trabajo a las diferentes áreas que resultaron críticas, como Chocolates y Bühler, lo que insinúa que son áreas para prestarles más atención con respecto al mantenimiento programado para poder elevar el indicador y que el nivel de criticidad registre entre rangos aceptables.

Figura 49. Comparación del mantenimiento predictivo 2015 vs 2016.



Nombre de la Fuente: Autor del Proyecto.

## 5 BENEFICIO ECONÓMICO

Las estrategias de mantenimiento basadas en confiabilidad y que se puedan aplicar a un entorno industrial, realmente son oportunidades de mejora con respecto al proceso interno de la compañía. El análisis de criticidad a partir del análisis de vibraciones, permite a la compañía visualizar el estado de funcionamiento de los equipos como de cada área de trabajo, con el fin de programar los mantenimientos teniendo en cuenta el nivel de criticidad.

Para una empresa, la parte que acarrea más costos es detener la producción; Casa Luker siendo una planta de alimentos con alto reconocimiento nacional e internacional, es necesario realizar paradas programadas para atender todas las eventualidades que se puedan presentar, en esos espacios es fundamental tener claro las actividades de mantenimiento que se van a realizar a los equipos de la planta.

Con el análisis de criticidad, es posible priorizar estas actividades con el fin de direccionar planes de mejora en el área de mantenimiento y tener la posibilidad de orientar los recursos hacia donde más se necesite. La empresa cuenta con un presupuesto, el cual está destinado para todas las áreas de trabajo, pero en cuanto a la optimización de recursos (humanos, económicos, técnicos), es destinar una gran parte del presupuesto a las áreas críticas, para poder garantizar el buen funcionamiento de los equipos.

La herramienta tiene un gran potencial a futuro, ya que permite tener un plano más general de lo que realmente está pasando dentro de la planta, y de esta manera poder conocer el estado crítico de los equipos para evitar una parada indeseada, que puede costar mucho dinero y tiempo al solucionar estos problemas. Además, se mejoró el seguimiento de los equipos en todas las áreas de trabajo, puesto que la mentalidad que se tiene ahora es “Todo equipo es importante e indispensable para la producción”, y eso se debe a que cada componente que hace parte de la empresa aporta un esfuerzo para que el proceso se haga de una forma eficiente y con calidad, para prestar un excelente servicio a los clientes de Casa Luker.

## 6 CONCLUSIONES

1. La generación de un cronograma de inspección por análisis de vibraciones y el seguimiento del mismo, optimiza el tiempo de recorrido en las diferentes áreas, garantizando que no ocurran incidentes de inocuidad por personas ajenas a la planta.
2. La evaluación de equipos bajo los estándares de la ISO 10816, permitió identificar y comprender el tipo de maquinaria con la que cuenta la empresa. Además de entender que un alto nivel de vibración es una fuente potencial de problemas a futuro.
3. El análisis de criticidad fue una herramienta muy útil a la hora de asignar los recursos necesarios para la solución de problemas. Generando conciencia de que todos los equipos son importantes y que cumplen una función específica para que el proceso se realice bajo los parámetros de calidad, los cuales caracterizan a Casa Luker S.A.
4. La metodología propuesta e implementada en la compañía, permitirá tener mejor control del servicio contratado e independiente de los resultados preliminares que arroje la técnica, se podrá determinar un estado de criticidad de las áreas de trabajo, con el fin de tener un plano más general de cómo se comporta la planta en función de las fallas que pueden estar ocultas.
5. Con respecto al seguimiento de las órdenes de trabajo y su cumplimiento, en el 2016 hubo más control e insistencia que en el 2015, con la razón de que si la técnica le costaba a la empresa, era necesario sacarle el máximo provecho para tener una planta con buenos índices de disponibilidad como de confiabilidad. Por ejemplo, en Barth hubo un incremento del 3% , cocoas un 1%, Molienda un 7% y en servicios un 15%. Estos valores son el comparativo con referencia al año anterior, y todo gracias al seguimiento y esfuerzo del personal del departamento de mantenimiento.
6. En Casa Luker, independiente de las áreas se evidenció que un buen trabajo en equipo y la atención oportuna a las anomalías garantizan la funcionalidad y disponibilidad de los equipos.
7. Existen oportunidades de mejora y de crecimiento empresarial con respecto al método de mantenimiento que se esté utilizando, con el objetivo final de prestar un buen servicio y tener una planta segura bajo los estándares de calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. MOUBRAY.J. *Reliability-centred Maintnance (RCM)*. 2da Ed. North Carolina : Adalon LLC, 1997. ISBN 09539603-2-3.
2. GARCÍA GARRIDO, Santiago. *Organización y gestión integral de mantenimiento* [En línea]. Madrid, España : DIAZ DE SANTOS, 2003. ISBN 978-84-7978-548-2. [Fecha de consulta: 27 Octubre 2016 ]. Disponible en : [https://books.google.com.co/books?id=PUovBdLi-oMC&printsec=frontcover&dq=gestion+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=PUovBdLi-oMC&printsec=frontcover&dq=gestion+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
3. GARCÍA GARRIDO, Santiago. *La contratación del mantenimiento industrial* [En línea]. Madrid, España : DIAZ DE SANTOS, 2010. ISBN 978-7978-962-6.[Fecha de consulta : 30 Octubre 2016 ]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=LwLk1NwRXyoC&printsec=frontcover&dq=gestion+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=LwLk1NwRXyoC&printsec=frontcover&dq=gestion+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
4. GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado* [En línea]. 2a. Madrid, España : FC EDITORIAL, 2005. ISBN 84-96169-49-9. [Fecha de consulta : 23 Octubre 2016]. Disponible en : [https://books.google.com.co/books?id=OzwXOAKv\\_QAC&pg=PA429&dq=indicadores+de+mantenimiento&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=indicadores de mantenimiento&f=false](https://books.google.com.co/books?id=OzwXOAKv_QAC&pg=PA429&dq=indicadores+de+mantenimiento&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=indicadores de mantenimiento&f=false)
5. CUATRECASAS ARBÓS, Lluís & TORRELL MARTÍNEZ, Francesca. *TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva* [En línea]. 1a. Barcelona,España : PROFIT editorial, 2010. ISBN 9788415330172. [Fecha de consulta 05 Noviembre 2016]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=n5qUDVbPA6wC&printsec=frontcover&dq=tpm&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=tpm&f=false](https://books.google.com.co/books?id=n5qUDVbPA6wC&printsec=frontcover&dq=tpm&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=tpm&f=false)
6. GONZÁLEZ FERNANDEZ, Franciso Javier. *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión* [En línea]. 1a. Madrid, España : FC EDITORIAL, 2004. ISBN 84-96169-36-7. [Fecha de consulta: 24 Octubre 2016]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=o0cH7Nwkm3YC&pg=PA9&dq=indicadores+de+mantenimiento&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=indicadores de mantenimiento&f=false](https://books.google.com.co/books?id=o0cH7Nwkm3YC&pg=PA9&dq=indicadores+de+mantenimiento&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=indicadores de mantenimiento&f=false)
7. DUFFUAA, Salih O, RAOUF, A & CAMPBELL, John Dixon. *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. 1a. Balderas, México : LIMUSA WILEY, 2000. ISBN 968-18-5918-9.

8. SAAVEDRA, Pedro. Bases del Mantenimiento Predictivo y del diagnóstico de fallas en máquinas. En : [En línea]. Concepción, Chile. Disponible en : <https://es.scribd.com/document/221561479/Vibraciones-Nivel-I>
9. WHITE, Glen. *Introducción al Análisis de Vibraciones*. 2da ed. EE.UU : Azima DLI, 2010. ISBN 978-0982051740.
10. ARQUES PATÓN, José Luis. *Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario* [En línea]. Madrid, España : DIAZ DE SANTOS, 2009. ISBN 978-84-7978-916-9. [Fecha de consulta : 28 Octubre 2016 ]. Disponible en:  
[https://books.google.com.co/books?id=oSbQQpplOV0C&pg=PR11&dq=gesti+on+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=gestion+del+mantenimiento+industrial&f=false](https://books.google.com.co/books?id=oSbQQpplOV0C&pg=PR11&dq=gesti+on+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=gestion+del+mantenimiento+industrial&f=false)
11. SOLÉ CREUS, Antonio. *Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales* [En línea]. 2da Ed. España : marcombo, ediciones técnicas, 2005. ISBN 84-267-1362-9. [Fecha de Consulta : 29 Agosto 2016]. Disponible en: [https://books.google.es/books?id=T6zqGALwitYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=T6zqGALwitYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
12. GARCIA GARRIDO, Santiago. Santiago. Técnicas de Mantenimiento Condicional basadas en la medición de variables Físicas. En : *La contratación del Mantenimiento*. Madrid, España : Alava Ingenieros, 2014. p. 5–23. ISBN 9788479789626.
13. GTS CONFIABILIDAD. Programas de mantenimiento basado en Condición. [En línea]. [Fecha de Consulta: 06 Noviembre 2016]. Disponible en: [http://www.confabilidad.com.ve/pmbc\\_5\\_pasos\\_gts\\_confabilidad.pdf](http://www.confabilidad.com.ve/pmbc_5_pasos_gts_confabilidad.pdf)
14. A-MAQ S.A. Análisis de Maquinaria: Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico. En : [En línea]. Medellín, Colombia, 2005. p. 41. Disponible en : <http://a-maq.com/formacion/notas-tecnicas/>
15. MOSQUERA, Genaro, PIEDRA, Margarita and ARMAS, Raul. *Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo*. 2da ed. La Habana, Cuba, 2001. ISBN 980-00-5678-7.
16. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CHILE (INACAP). Análisis De Vibraciones-Análisis Espectro. En : [En línea]. Chile, 2012. p. 46. Disponible en : <https://es.scribd.com/doc/117061425/vibraciones>
17. SINAIS INGENIERIA. Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas. 2013 .[En Línea]. [Fecha de consulta: 26 Noviembre 2016 ]. Disponible en : <http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/normativa/iso10816.html>

18. LAVATA, WILLY. *Aplicación de las Vibraciones Mecánicas en la Ingeniería Industrial*. En: Mecánica Racional II. Santo Domingo, República Dominicana: Universidad Autónoma de Santo Domingo. 2013. 24 p.
19. ESTÉVES CRUZ, Antonio. *Informe de Práctica Profesional: Estudio de un sistema de mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones implantado en instalaciones de bombeo y generación*. Escuela Superior de Ingeniería Industrial, 2013.
20. GARCIA GARRIDO, Santiago. *PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM* [En línea]. 2013. [Fecha de consulta: 20 Noviembre de 2016]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=qO-JR6UfKZs>
21. RELIABILITYWEB: A CULTURE OF RELIABILITY. El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. [En línea]. [Fecha de consulta : 16 Noviembre 2016 ]. Disponible en: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-o-pe>
22. PEMEX. Metodología Análisis de Criticidad (AC). Mexico. 2001.
23. PLAZA TOVAR, Alejandro Santiago. *Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento*. [En línea]. 2009. ISBN 978-1-4092-2921-6. [Fecha de consulta : 29 Octubre 2016 ]. Disponible en : [https://books.google.com.co/books?id=lvdKUuGF2xMC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=indicadores+de+mantenimiento&source=bl&ots=X7tZzolsJE&sig=zLmTyIj80XPcZrByi55i4BraUw4&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=indicadores de mantenimiento&f=false](https://books.google.com.co/books?id=lvdKUuGF2xMC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=indicadores+de+mantenimiento&source=bl&ots=X7tZzolsJE&sig=zLmTyIj80XPcZrByi55i4BraUw4&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=indicadores de mantenimiento&f=false)
24. GARCÍA GARRIDO, Santiago. INDICADORES EN MANTENIMIENTO. [En línea]. [Fecha de Consulta: 06 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>
25. RENOVEFREE GMAO. *INDICADORES DE MANTENIMIENTO* [En línea]. 2015. [Fecha de consulta: 04 Noviembre 2016]. Disponible en : <https://www.youtube.com/watch?v=mFQuTwHjmXM>
26. International Organization for Standardization. ISO 10816-3: Evaluation of Machine Vibration by Measurements on non-rotating parts – Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ.2009-(2014).18 p.
27. International Organization for Standardization. ISO 10816-1: Evaluation of Machine Vibration by Measurements on non-rotating parts – Part 1: General Guidelines.1995-(2016).19 p.

## ANEXOS

### ANEXO A

**Tabla A.1.** Funciones principales y secundarias de equipos área de Barth.

| BARTH             |                                 |                                                                 |                        |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|
| UBICACIÓN TÉCNICA | Nombre del Equipo               | FUNCION PRIMARIA                                                | FUNCION SECUNDARIA     |
| LIMPIEZA          | Ventilador Silo limpieza        | Mover ventilador para limpiar cacao                             | Control y eficiencia   |
|                   | Ventilador silo Trillador       | Mover ventilador para limpiar cacao                             | Control y eficiencia   |
|                   | Ventilador silo Limpieza 2      | Mover ventilador para limpiar cacao                             | Control y eficiencia   |
|                   | M.Red Sinfín Limpiador          | Transportar el grano de cacao al imán detector                  | Control y contención   |
|                   | Motor vibrador/separador        | Mover vibradores para separar el cacao de elementos extraños    | Integridad estructural |
|                   | Cadena Extracción de llenado    | Transportar el grano al elevador para los silos de limpieza     | Control y contención   |
|                   | Motor ventilador vib/sep        | Mover el ventilador del separador de material extraño           | Control y seguridad    |
| IR                | M.Cadena de alimentación        | Transportar el producto a una sección intermedia antes del IR   | Seguridad y control    |
|                   | M.Sinfín Salida bascula         | Transportar grano de cacao a cadena de alimentación             | Seguridad y control    |
|                   | M.Elevador de Alimentación TR   | Transportar grano de cacao a la tolva de llenado del Infrarrojo | Control y contención   |
|                   | Sinfín Alimentación IR          | Mover el producto internamente en el infrarrojo (IR)            | Control y seguridad    |
|                   | Apaga chispas                   | Prevenir un calentamiento excesivo                              | Seguridad y control    |
|                   | Ventilador aire combustión      | Llevar aire a la cámara de infrarrojo                           | Integridad ambiental   |
|                   | Ventilador Extracción gases     | Extraer gases fuera del proceso                                 | Integridad ambiental   |
| TRILLADORA        | Quebrantador #1                 | Quebrar la cascarilla de la almendra de cacao                   | Control y contención   |
|                   | Quebrantador #2                 | Quebrar la cascarilla de la almendra de cacao                   | Control y contención   |
|                   | Sinfín Extracción cascarilla #1 | Separar y transportar la cascarilla del cacao                   | Control y contención   |
|                   | Sinfín Extracción cascarilla #2 | Separar y transportar la cascarilla del cacao                   | Control y contención   |
|                   | Sinfín Extracción cascarilla #3 | Separar y transportar la cascarilla del cacao                   | Control y contención   |
|                   | Sinfín Extracción cascarilla #4 | Separar y transportar la cascarilla del cacao                   | Control y contención   |
|                   | Sinfín Extracción cascarilla #5 | Separar y transportar la cascarilla del cacao                   | Control y contención   |
|                   | Roto Exclusa salida cascarilla  | Trasladar solo la cascarilla de la materia prima.               | integridad ambiental   |
|                   | Exclusa salida nibs             | Trasladar a tosti6n el nib de cacao.                            | Control y contención   |
|                   | Molino de cascarilla            | Pulverizar cascarilla                                           | Control y seguridad    |

**Tabla A.1** Funciones principales y secundarias de equipos área de Barth (Continuación).

|                 |                                   |                                                     |                        |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|
| <b>TOSTADOR</b> | Motor Ppal Tostador               | Hacer rotar el tambor del tostador.                 | Integridad estructural |
|                 | Motor Ventilador combustión       | Adicionar aire para la tosti3n.                     | Integridad ambiental   |
|                 | Agitador cooler                   | Enfriar el grano de cacao despu3s de la tosti3n.    | Control y seguridad    |
|                 | Roto exclusiva Nibs Tostador      | Transportar el nib tostado a Molinos.               | Control y seguridad    |
|                 | Extractor de aire caliente cooler | Extraer aire caliente del Enfriador (cooler)        | Integridad ambiental   |
|                 | Extractor de gases Tostador       | Extraer gases fuera del proceso                     | Integridad ambiental   |
|                 | Vent.Recirculaci3n aire caliente  | Recircular aire para aprovechar la ganancia t3rmica | Control y seguridad    |

**Tabla A.2** Funciones principales y secundarias de equipos 3rea de Molienda.

| <b>MOLIENDA PRENSA</b>   |                               |                                                 |                           |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>UBICACI3N T3CNICA</b> | <b>Nombre del Equipo</b>      | <b>FUNCION PRIMARIA</b>                         | <b>FUNCION SECUNDARIA</b> |
| <b>NIBROTON</b>          | Sinf3n Alimentaci3n Nibrot3n  | Trasladar Nibs de cacao a Molino.               | Integridad estructural    |
|                          | Motor Ppal Molino Nibrot3n    | Mover la transmisi3n principal del Molino.      | Integridad estructural    |
|                          | Extractor de gases Nibrot3n   | Extraer gases innecesarios del proceso.         | Integridad estructural    |
|                          | Tanque manteca                | Agitar manteca                                  | Almacenamiento            |
|                          | Bomba salida Nibrot3n         | Transportar producto a tanques de proceso.      | Control y contenci3n      |
|                          | Agitador tanque 1 Nibrot3n    | Agitar la mezcla que libera el Molino Nibrot3n. | Control y contenci3n      |
| <b>Wiener 1</b>          | B.Alimentaci3n Molino Bolas 1 | Transportar producto a tanques de proceso.      | Control y contenci3n      |
|                          | Motor Ppal Molino Bolas 1     | Mover la transmisi3n principal del Molino.      | Integridad estructural    |
| <b>Wiener 2</b>          | B.Alimentaci3n Molino Bolas 2 | Transportar producto a tanques de proceso.      | Control y contenci3n      |
|                          | Motor Ppal Molino Bolas 2     | Mover la transmisi3n principal del Molino.      | Integridad estructural    |
|                          | Bomba salida planta           | Transportar producto a tanques de proceso.      | Integridad Ambiental      |

**Tabla A.2** Funciones principales y secundarias de equipos área de Molienda (Continuación).

|               |                         |                                                        |                        |
|---------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>PRENSA</b> | Bomba salida BTQ 32     | Almacenar y trasportar producto a planta.              | Control y contención   |
|               | Bomba Manteca cacao     | Transportar manteca prensa a tanques de almacenamiento | Control y contención   |
|               | Quiebra tortas prensa   | Quebrar tortas para turrón de cacao.                   | Seguridad y contención |
|               | Motor Rompedor          | Pulverizar el turrón, según la necesidad de planta.    | Control y contención   |
|               | Sinfín salida rompedor  | Mover el tambor del rompedor a la entrada.             | Control y contención   |
|               | Sinfín entrada rompedor | Mover el tambor del rompedor a la salida.              | Control y contención   |

**Tabla A.3** Funciones principales y secundarias de equipos área de Cocoas.

| <b>COCOAS-GRANELES</b>   |                             |                                                    |                           |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>UBICACIÓN TÉCNICA</b> | <b>Nombre del Equipo</b>    | <b>FUNCION PRIMARIA</b>                            | <b>FUNCION SECUNDARIA</b> |
| <b>PULVERIZADOR</b>      | Mezclador Hosokawa          | Mover la transmisión para mezclar ingredientes.    | Control e inocuidad       |
|                          | Sinfín Alim. Pulverizador   | Transportar ingredientes para mezclar.             | Control y Contención      |
|                          | Motor Pulverizador          | Mover transmisión para pulverizar el producto.     | Integridad ambiental      |
|                          | Motor Pulverizador 2        | Mover transmisión para pulverizar el producto.     | Integridad ambiental      |
|                          | Rompedor Pulverizador       | Triturar tortas de compresión de Cacao             | Control y Contención      |
|                          | Roto Exclusa pre-rompedor   | Mover la trituration de las tortas al pulverizador | Control y Contención      |
|                          | Roto Exclusa a pulverizador | Pulverizar totalmente las tortas (Polvo)           | Control e inocuidad       |
|                          | Banda de alimentación       | Transportar ingredientes para mezclar.             | Control y seguridad       |
|                          | Mezclador #2                | Adicionar ingredientes a la mezcla.                | Control e inocuidad       |
| <b>MESPACK</b>           | Rovema #2                   | Empacar producto pulverizado                       | control y calidad         |
|                          | Transmisión Mespac          | Mover transmisión para empacar producto            | Control y seguridad       |
|                          | Allfill                     | Dosificar pulverizado productos especiales         | Control y seguridad       |
| <b>INSTANT</b>           | Tambor Instant              | Mover producto para mezclar                        | Control e inocuidad       |
|                          | Extractor aire tambor       | Retirar gases de combustión de gas                 | Integridad ambiental      |
|                          | Mezclador Instant           | Mezclar ingredientes                               | Control e inocuidad       |

**Tabla A.4** Funciones principales y secundarias de equipos área de Bühler.

| <b>BUHLER</b>            |                                 |                                                      |                           |
|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>UBICACIÓN TÉCNICA</b> | <b>Nombre del Equipo</b>        | <b>FUNCION PRIMARIA</b>                              | <b>FUNCION SECUNDARIA</b> |
| <b>INGREDIENTES</b>      | Adición ingredientes MR         | Recibir todos los ingredientes para la mezcla        | Control y Contención      |
|                          | Compresor ad. de ingredientes   | Distribuir los ingredientes a Bühler                 | Control y Seguridad       |
|                          | Ventilador adición ingredientes | Distribuir los ingredientes a Bühler                 | Control y Seguridad       |
|                          | Silo ingredientes               | Distribuir al mixer los ingredientes                 | Control y Contención      |
|                          | Silo ingredientes Polvo Cacao   | Distribuir al mixer los ingredientes                 | Control y Contención      |
|                          | Silo ingredientes leche entera  | Distribuir al mixer los ingredientes                 | Control y Contención      |
|                          | Silo ingredientes azúcar        | Distribuir al mixer los ingredientes                 | Control y Contención      |
|                          | Silo ingred. leche descremada   | Distribuir al mixer los ingredientes                 | Control y Contención      |
|                          | Motor Mixer                     | Mezclar todos los ingredientes en Bühler             | Control y Seguridad       |
|                          | Agitador Tanque licor           | Agitar ingredientes en tanques                       | Control e inocuidad       |
|                          | Bomba retorno segundo piso      | Recircular agua al sistema                           | Control y Seguridad       |
|                          |                                 | Hacer un pre-refinado a la mezcla                    |                           |
| <b>REFINADO</b>          | Motor Pre-Finer                 | Hacer un pre-refinado a la mezcla                    | Control y Seguridad       |
|                          | Motor Tornillo homogeneizador   | Distribuir la mezcla en toda la banda transportadora | Control y Contención      |
|                          | Salida Pre-Finer                | Direccionar el producto al finer                     | Control y Contención      |
|                          | Motor Finer                     | Hacer el refinado final al producto                  | Control e inocuidad       |
|                          | Rodillos Finer                  | Retirar exceso de grasa del producto                 | Control e inocuidad       |
|                          | Motor Concha #1                 | Acondicionar la mezcla por temperatura               | Control y Contención      |
|                          | Ventilador concha #1            | Evitar sobrecalentamiento de Concha#1                | Control y Seguridad       |
|                          | Bomba salida concha #1          | Mover le producto por los ductos                     | Control y Seguridad       |
|                          | Bomba salida concha #2          | Mover le producto por los ductos                     | Control y Seguridad       |
|                          | Motor Concha #2                 | Acondicionar la mezcla por temperatura               | Control y Contención      |
|                          | Ventilador concha #2            | Evitar sobrecalentamiento de Concha#2                | Control y Seguridad       |
|                          | Bomba Lecitina                  | Transportar lecitina a tanques de almacenamiento     | Control y Contención      |
|                          | Agitador tanque lecitina        | Mantener la temperatura de la lecitina               | Control y Contención      |
|                          | Hidroflow concha #1             | Bombear agua de refrigeración al sistema             | Control y Seguridad       |
|                          | Hidroflow concha #2             | Bombear agua de refrigeración al sistema             | Control y Seguridad       |

**Tabla A.4** Funciones principales y secundarias de equipos área de Bühler (Continuación).

|                       |                         |                                            |                     |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------------|---------------------|
| <b>ALMACENAMIENTO</b> | Bomba salida Tanque 101 | Llevar producto a tanque de almacenamiento | Control y Seguridad |
|                       | Agitador Tanque 101     | Mantener la temperatura del producto       | Control y Seguridad |
|                       | Bomba salida Tanque 102 | Llevar producto a tanque de almacenamiento | Control y Seguridad |
|                       | Motor Tanque 102        | Mantener la temperatura del producto       | Control y Seguridad |
|                       | Mezclador Tanque 102    | Mantener la temperatura del producto       | Control y Seguridad |
|                       | Bomba salida Tanque 103 | Llevar producto a tanque de almacenamiento | Control y Seguridad |
|                       | Agitador Tanque 103     | Mantener la temperatura del producto       | Control y Seguridad |
|                       | Mezclador Tanque 103    | Mantener la temperatura del producto       | Control y Seguridad |
|                       | Bomba salida Tanque 104 | Llevar producto a tanque de almacenamiento | Control y Seguridad |
|                       | Agitador Tanque 104     | Mantener la temperatura del producto       | Control y Seguridad |
|                       | Mezclador Tanque 104    | Mantener la temperatura del producto       | Control y Seguridad |

**Tabla A.5** Funciones principales y secundarias de equipos área de Servicios.

| <b>SERVICIOS INDUSTRIALES</b> |                          |                                                          |                           |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>UBICACIÓN TÉCNICA</b>      | <b>Nombre del Equipo</b> | <b>FUNCION PRIMARIA</b>                                  | <b>FUNCION SECUNDARIA</b> |
| <b>CUARTO DE BOMBAS</b>       | B.Auxiliar agua tibia    | Bombear agua para el proceso                             | Control y contención      |
|                               | B.Principal agua tibia   | Bombear agua para el proceso                             | Control y contención      |
|                               | B.Auxiliar torres        | Bombear agua de proceso hacia las Torres de enfriamiento | Control y contención      |
|                               | B.Principal Torres       | Bombear agua de proceso hacia las Torres de enfriamiento | Control y contención      |
|                               | B.Principal Buhler       | Bombear agua para el área de Buhler                      | Control y contención      |
|                               | Bomba Tanque Inox        | Bombear agua para tanque de almacenamiento               | Control y contención      |
|                               |                          |                                                          |                           |
| <b>CALDERAS</b>               | Compresor Sullair        | Suministrar aire frío al interior de la planta           | Control Ambiental         |
|                               | Compresor Atlas          | Suministrar aire frío al interior de la planta           | Control Ambiental         |
|                               | B.Chiller Carrier #1     | Bombear agua del chiller hacia tanque de almacenamiento  | Control Ambiental         |
|                               | B.Chiller Carrier #2     | Bombear agua del chiller hacia tanque de almacenamiento  | Control Ambiental         |
|                               | B.Chiller Carrier #3     | Bombear agua fría para refrigerar equipos                | Control y contención      |
|                               | B.Chiller Carrier #4     | Bombear agua fría para refrigerar equipos                | Control y contención      |
|                               | Bomba Caldera            | Bombear agua a la caldera de vapor                       | Control y seguridad       |

**Tabla A.5** Funciones principales y secundarias de equipos área de Servicios  
(Continuación)

|                            |                             |                                                          |                      |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>BUHLER<br/>REFINADO</b> | B. Calentamiento tubería #1 | Bombear agua al proceso de Buhler                        | Control y contención |
|                            | B. Calentamiento tubería #2 | Bombear agua al proceso de Buhler                        | Control y contención |
|                            | B. Calentamiento tubería #3 | Bombear agua al proceso de Buhler                        | Control y contención |
|                            | B. Calentamiento tubería #4 | Bombear agua al proceso de Buhler                        | Control y contención |
|                            | B. Calentamiento tubería #5 | Bombear agua al proceso de Buhler                        | Control y contención |
|                            | B. Calentamiento tubería #6 | Bombear agua al proceso de Buhler                        | Control y contención |
|                            | Bomba Retorno Tk 40         | Bombear agua de proceso hacia las Torres de enfriamiento | Control y seguridad  |
|                            | Bomba Aux. Retorno Torres   | Bombear agua de proceso hacia las Torres de enfriamiento | Control y seguridad  |
|                            | Bomba Princ. Retorno Torres | Bombear agua de proceso hacia las Torres de enfriamiento | Control y seguridad  |
| <b>TRILLADORA</b>          | Soplador Keaser 1           | Mover producto con aire comprimido para el proceso       | Control y contención |
|                            | Soplador Keaser 2           | Mover producto con aire comprimido para el proceso       | Control y contención |
|                            | Soplador Keaser 3           | Mover producto con aire comprimido para el proceso       | Control y contención |

## ANEXO B

**Tabla B.1.** Evaluación de equipos bajo la Norma ISO 10816 (Barth).

| UBICACIÓN<br>TÉCNICA | Nombre del Equipo                    | Tipo de<br>equipo  | Potencia<br>[kW] | Velocidad<br>[RPM] | NORMA       | CLASIFICACION  |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------|----------------|
| <b>LIMPIEZA</b>      | Ventilador Silo limpieza             | Motor              | 44               | 1700               | ISO 10816-3 | GRUPO II       |
|                      | Ventilador silo Trillador            | Motor              | 2,2              | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Ventilador silo Limpieza             | Motor              | 36               | 1700               | ISO 10816-3 | GRUPO II       |
|                      | M.Red Sinfín Limpiador               | Motor-<br>Reductor | 1,5              | 1760               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Motor<br>vibrador/separador          | Motor              | 1,5              | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Cadena Extracción de<br>llenado      | Motor-<br>Reductor | 0,9              | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Motor ventilador<br>vib/sep          | Motor              | 1,5              | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
| <b>IR</b>            | M.Cadena alimentación                | Motor-<br>Reductor | 1,5              | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | M.Sinfin Salida bascula              | Motor-<br>Reductor | 22,2             | 145                | ISO 10816-3 | GRUPO II       |
|                      | M.Elevador de<br>Alimentación TR     | Motor              | 2,2              | 95                 | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Transmisión Ppal IR                  | Motor              | 5,5              | 1740               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Apaga chispas                        | Motor-<br>Reductor | 0,75             | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | V. aire combustión                   | Motor              | 22,2             | 1500               | ISO 10816-3 | GRUPO II       |
|                      | V. Extracción gases                  | Motor              | 35               | 1500               | ISO 10816-3 | GRUPO II       |
| <b>TRILLADORA</b>    | Quebrantador #1                      | Motor              | 2,2              | 1130               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Quebrantador #2                      | Motor              | 1,8              | 1125               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Sinfín Extracción<br>cascarilla #1   | Motor-<br>Reductor | 0,37             | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Sinfín Extracción<br>cascarilla #2   | Motor-<br>Reductor | 0,37             | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Sinfín Extracción<br>cascarilla #3   | Motor-<br>Reductor | 0,37             | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Sinfín Extracción<br>cascarilla #4   | Motor-<br>Reductor | 0,37             | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Sinfín Extracción<br>cascarilla #5   | Motor-<br>Reductor | 0,37             | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Roto Exclusa salida<br>cascarilla    | Motor-<br>Reductor | 0,55             | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Sinfín salida molino<br>cascarilla   | Motor-<br>Reductor | 0,37             | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
| <b>TOSTADOR</b>      | Motor Ppal Tostador                  | Motor              | 22               | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO II       |
|                      | Motor Ventilador<br>combustión       | Motor              | 2,2              | 1200               | ISO 10816-3 | GRUPO III y IV |
|                      | Roto exclusiva Nibs<br>Tostador      | Motor              | 1,5              | 1720               | ISO 10816-3 | GRUPO III y IV |
|                      | Extractor de aire<br>caliente cooler | Motor              | 18,5             | 2930               | ISO 10816-1 | GRUPO II       |
|                      | Extractor de gases<br>Tostador       | Motor              | 2,6              | 3460               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |
|                      | Vent.Recirculación aire<br>caliente  | Motor              | 13,2             | 3515               | ISO 10816-1 | GRUPO I        |

**Tabla B.2.** Evaluación de equipos bajo la Norma ISO 10816 (Molienda Prensa).

| UBICACIÓN TÉCNICA | Nombre del Equipo            | Tipo de equipo | Potencia [kW] | Velocidad [RPM] | NORMA       | CLASIFICACION |
|-------------------|------------------------------|----------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|
| <b>NIBROTON</b>   | Sinfín Alimentación Nibrotón | Motor-Reductor | 2,2           | 1200            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Motor Ppal Molino Nibrotón   | Motor          | 184           | 1785            | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                   | Extractor de gases Nibrotón  | Motor          | 4,2           | 1200            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Tanque manteca               | Motor          | 0,24          | 1030            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Bomba salida Nibrotón        | Motor-Bomba    | 2,2           | 1400            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Agitador tanque 1 Nibrotón   | Motor-Reductor | 2,2           | 1400            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>Wiener 1</b>   | B. Molino Bolas 1            | Motor-Bomba    | 2,2           | 1400            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Motor Ppal Molino Bolas 1    | Motor          | 75            | 738             | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
| <b>Wiener 2</b>   | B. Molino Bolas 2            | Motor-Bomba    | 2,2           | 1400            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Motor Ppal Molino Bolas 2    | Motor          | 75            | 738             | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                   | Bomba salida planta          | Motor-Bomba    | 2,2           | 1400            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>PRENSA</b>     | Bomba salida BTQ 32          | Motor-Bomba    | 13,2          | 872             | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Bomba Manteca cacao          | Motor          | 3,6           | 1160            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Quiebra tortas prensa        | Motor          | 5,5           | 1150            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                   | Sinfín entrada rompedor      | Motor-Reductor | 1,5           | 46              | ISO 10816-1 | GRUPO I       |

**Tabla B.3.** Evaluación de equipos bajo la Norma ISO 10816 (Cocoas-Graneles).

| UBICACIÓN TÉCNICA   | Nombre del Equipo           | Tipo de equipo | Potencia [kW] | Velocidad [RPM] | NORMA       | CLASIFICACION |
|---------------------|-----------------------------|----------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|
| <b>PULVERIZADOR</b> | Mezclador Hosokawa          | Motor-Reductor | 7,45          | 1780            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                     | Sinfín Alim. Pulverizador   | Motor-Reductor | 0,86          | 1650            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                     | Motor Pulverizador          | Motor          | 15,6          | 1770            | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                     | Motor Pulverizador 2        | Motor          | 63            | 1780            | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                     | Rompedor Pulverizador       | Motor-Reductor | 4             | 1755            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                     | Roto Exclusa pre-rompedor   | Motor-Reductor | 1,5           | 1200            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                     | Roto Exclusa a pulverizador | Motor-Reductor | 11,11         | 1440            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>MESPACK</b>      | Rovema #2                   | Motor          | 5,6           | 1700            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                     | Transmisión Mespac          | Motor          | 21            | 1500            | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                     | Allfill                     | Motor-Reductor | 1,64          | 1140            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>INSTANT</b>      | Tambor Instant              | Motor-Reductor | 1,49          | 1700            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                     | Extractor aire tambor       | Motor-Reductor | 2,98          | 1600            | ISO 10816-1 | GRUPO I       |

**Tabla B.4.** Evaluación de equipos bajo la Norma ISO 10816 (Bühler).

| UBICACIÓN<br>TÉCNICA | Nombre del Equipo               | Tipo de<br>equipo    | Potencia<br>[kW] | Velocidad<br>[RPM] | NORMA       | CLASIFICACION |
|----------------------|---------------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------|---------------|
| INGREDIENTES         | Adición ingredientes MR         | Motor-<br>Reductor   | 0,55             | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Compresor ad. de ingredientes   | Motor-<br>Compresor  | 2,2              | 3600               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Ventilador adición ingredientes | Motor-<br>Ventilador | 1,2              | 3450               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Silo ingredientes               | Motor-<br>Ventilador | 1,1              | 3455               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Silo ingredientes Polvo Cacao   | Motor-<br>Ventilador | 1,1              | 3455               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Silo ingredientes leche entera  | Motor-<br>Ventilador | 1,1              | 3455               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Silo ingredientes azúcar        | Motor-<br>Ventilador | 1,1              | 3455               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Silo ingred. leche descremada   | Motor-<br>Ventilador | 1,1              | 3455               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      |                                 |                      |                  |                    |             |               |
| REFINADO             | Motor Pre-Finer                 | Motor-<br>Reductor   | 10               | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Motor Tornillo homogeneizador   | Motor                | 4,6              | 1735               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Salida Pre-Finer                | Motor                | 2,2              | 1600               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Motor Finer                     | Motor-<br>Reductor   | 105              | 1191               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                      | Rodillos Finer                  | Motor                | 11,5             | 1430               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Motor Concha #1                 | Motor-<br>Ventilador | 125              | 889                | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                      | Ventilador concha #1            | Bomba-<br>Motor      | 0,9              | 1690               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Bomba salida concha #1          | Bomba-<br>Motor      | 6,3              | 1730               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Bomba salida concha #2          | Motor                | 6,3              | 1730               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Motor Concha #2                 | Motor-<br>Ventilador | 125              | 889                | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                      | Hidroflow concha #1             | Bomba<br>Centrifuga  | 3                | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Hidroflow concha #2             | Motor-<br>Bomba      | 3                | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      |                                 |                      |                  |                    |             |               |
| ALMACENAMIENTO       | Bomba salida Tanque 101         | Motor-<br>Reductor   | 2,2              | 1200               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Agitador Tanque 101             | Motor-<br>Bomba      | 2,24             | 1708               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Bomba salida Tanque 102         | Motor-<br>Reductor   | 2,2              | 1730               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Motor Tanque 102                | Motor-<br>Reductor   | 6                | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Mezclador Tanque 102            | Motor-<br>Bomba      | 5,6              | 1756               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Bomba salida Tanque 103         | Motor-<br>Reductor   | 2,2              | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Agitador Tanque 103             | Motor-<br>Reductor   | 2,24             | 1708               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Mezclador Tanque 103            | Motor-<br>Bomba      | 5,59             | 1720               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                      | Bomba salida Tanque 104         | Motor-<br>Reductor   | 2,2              | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |

**Tabla B.5.** Evaluación de equipos bajo la Norma ISO 10816 (Serv. Industriales).

| UBICACIÓN<br>TÉCNICA            | Nombre del Equipo              | Tipo de<br>equipo   | Potencia<br>[kW] | Velocidad<br>[RPM] | NORMA       | CLASIFICACION |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------|---------------|
| <b>CUARTO<br/>DE<br/>BOMBAS</b> | B.Auxiliar agua tibia          | Bomba<br>Centrifuga | 11               | 3520               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B.Principal agua tibia         | Bomba<br>Centrifuga | 11               | 3520               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B.Auxiliar torres              | Bomba<br>Centrifuga | 15               | 3530               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                                 | B.Principal Torres             | Bomba<br>Centrifuga | 40               | 3535               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                                 | B.Principal Buhler             | Bomba<br>Centrifuga | 2,2              | 3450               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B.Aux Buhler y Prensa          | Bomba<br>Centrifuga | 6                | 3460               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B.Principal Buhler y<br>Prensa | Bomba<br>Centrifuga | 6                | 3460               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | Bomba Tanque Inox              | Motor-<br>Compresor | 4                | 3440               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>CALDERAS</b>                 | Compresor Sullair              | Motor-<br>Compresor | 20               | 1200               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                                 | Compresor Atlas                | Bomba<br>Centrifuga | 75               | 3200               | ISO 10816-3 | GRUPO II      |
|                                 | B.Chiller Carrier #1           | Bomba<br>Centrifuga | 7,5              | 3525               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B.Chiller Carrier #2           | Bomba<br>Centrifuga | 7,5              | 3525               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B.Chiller Carrier #3           | Bomba<br>Centrifuga | 7,5              | 3525               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B.Chiller Carrier #4           | M-Bomba<br>Cent     | 7,5              | 3525               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | Bomba Caldera                  | Bomba<br>Centrifuga | 4,5              | 3465               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>BUHLER<br/>REFINADO</b>      | B. Calentamiento tubería<br>#1 | Bomba<br>Centrifuga | 1,5              | 3460               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B. Calentamiento tubería<br>#2 | Bomba<br>Centrifuga | 1,2              | 3480               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B. Calentamiento tubería<br>#3 | Bomba<br>Centrifuga | 2,2              | 3450               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B. Calentamiento tubería<br>#4 | Bomba<br>Centrifuga | 2,5              | 2800               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B. Calentamiento tubería<br>#5 | Bomba<br>Centrifuga | 3,6              | 1700               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | B. Calentamiento tubería<br>#6 | Bomba<br>Centrifuga | 4                | 1800               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | Bomba Retorno Tk 40            | Bomba<br>Centrifuga | 4                | 3480               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | Bomba Aux. Retorno<br>Torres   | Bomba<br>Centrifuga | 4                | 3485               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | Bomba Princ. Retorno<br>Torres | Motor-<br>Compresor | 1,5              | 3410               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
| <b>Trilladora</b>               | Soplador Keaser 1              | Motor-<br>Compresor | 5,5              | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |
|                                 | Soplador Keaser 2              | Motor-<br>Compresor | 7,5              | 1500               | ISO 10816-1 | GRUPO I       |

## ANEXO C

**Tabla C.1** Cumplimiento de las órdenes de trabajo por áreas de la empresa.

| 2016                   |   |       |     |                        |    |       |     |                        |   |       |      |                        |    |       |      |
|------------------------|---|-------|-----|------------------------|----|-------|-----|------------------------|---|-------|------|------------------------|----|-------|------|
| MAYO                   |   |       |     | JULIO                  |    |       |     | SEPTIEMBRE             |   |       |      | NOVIEMBRE              |    |       |      |
| BARTH                  |   |       |     | BARTH                  |    |       |     | BARTH                  |   |       |      | BARTH                  |    |       |      |
| OT GENERADAS           | 6 | I.CUM | 83% | OT GENERADAS           | 6  | I.CUM | 83% | OT GENERADAS           | 8 | I.CUM | 88%  | OT GENERADAS           | 7  | I.CUM | 100% |
| OT CUMPLIDAS           | 5 |       |     | OT CUMPLIDAS           | 5  |       |     | OT CUMPLIDAS           | 7 |       |      | OT CUMPLIDAS           | 7  |       |      |
| BUHLER                 |   |       |     | BUHLER                 |    |       |     | BUHLER                 |   |       |      | BUHLER                 |    |       |      |
| OT GENERADAS           | 3 | I.CUM | 67% | OT GENERADAS           | 4  | I.CUM | 50% | OT GENERADAS           | 2 | I.CUM | 50%  | OT GENERADAS           | 10 | I.CUM | 70%  |
| OT CUMPLIDAS           | 2 |       |     | OT CUMPLIDAS           | 2  |       |     | OT CUMPLIDAS           | 1 |       |      | OT CUMPLIDAS           | 7  |       |      |
| CHOCOLATES             |   |       |     | CHOCOLATES             |    |       |     | CHOCOLATES             |   |       |      | CHOCOLATES             |    |       |      |
| OT GENERADAS           | 2 | I.CUM | 50% | OT GENERADAS           | 12 | I.CUM | 50% | OT GENERADAS           | 7 | I.CUM | 57%  | OT GENERADAS           | 7  | I.CUM | 71%  |
| OT CUMPLIDAS           | 1 |       |     | OT CUMPLIDAS           | 6  |       |     | OT CUMPLIDAS           | 4 |       |      | OT CUMPLIDAS           | 5  |       |      |
| COCOAS                 |   |       |     | COCOAS                 |    |       |     | COCOAS                 |   |       |      | COCOAS                 |    |       |      |
| OT GENERADAS           | 2 | I.CUM | 50% | OT GENERADAS           | 4  | I.CUM | 75% | OT GENERADAS           | 0 | I.CUM | 80%  | OT GENERADAS           | 3  | I.CUM | 100% |
| OT CUMPLIDAS           | 1 |       |     | OT CUMPLIDAS           | 3  |       |     | OT CUMPLIDAS           | 0 |       |      | OT CUMPLIDAS           | 3  |       |      |
| MOLIENDA               |   |       |     | MOLIENDA               |    |       |     | MOLIENDA               |   |       |      | MOLIENDA               |    |       |      |
| OT GENERADAS           | 0 | I.CUM | 80% | OT GENERADAS           | 6  | I.CUM | 83% | OT GENERADAS           | 1 | I.CUM | 100% | OT GENERADAS           | 5  | I.CUM | 100% |
| OT CUMPLIDAS           | 0 |       |     | OT CUMPLIDAS           | 5  |       |     | OT CUMPLIDAS           | 1 |       |      | OT CUMPLIDAS           | 5  |       |      |
| SERVICIOS INDUSTRIALES |   |       |     | SERVICIOS INDUSTRIALES |    |       |     | SERVICIOS INDUSTRIALES |   |       |      | SERVICIOS INDUSTRIALES |    |       |      |
| OT GENERADAS           | 0 | I.CUM | 80% | OT GENERADAS           | 0  | I.CUM | 80% | OT GENERADAS           | 2 | I.CUM | 100% | OT GENERADAS           | 4  | I.CUM | 100% |
| OT CUMPLIDAS           | 0 |       |     | OT CUMPLIDAS           | 0  |       |     | OT CUMPLIDAS           | 2 |       |      | OT CUMPLIDAS           | 4  |       |      |