



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
UTILIZANDO ANALISIS DE VIBRACIONES COMO METODO DE  
MONITOREO POR CONDICION, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE  
GENERACION DE ENERGIA EN INGENIO MAGDALENA S, A.**

**Brandon René Hipp Méndez**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, marzo 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
UTILIZANDO ANALISIS DE VIBRACIONES COMO METODO DE  
MONITOREO POR CONDICION, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE  
GENERACION DE ENERGIA EN INGENIO MAGDALENA S, A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BRANDON RENÉ HIPP MÉNDEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MARZO 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |   |
|------------|---|
| DECANA     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada   |
| VOCAL I    | Ing. José Francisco Gómez Rivera        |
| VOCAL II   | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez     |
| VOCAL III  | Ing. José Milton de León Bran           |
| VOCAL IV   | Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente |
| VOCAL V    | Br. Fernando José Paz González          |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez         |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| EXAMINADOR | Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco  |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma    |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda    |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez.      |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
UTILIZANDO ANALISIS DE VIBRACIONES COMO METODO DE  
MONITOREO POR CONDICION, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE  
GENERACION DE ENERGIA EN INGENIO MAGDALENA S, A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Ingeniería Mecánica, con fecha 4 de febrero de 2020.

**Brandon René Hipp Méndez**



Guatemala, 3 de noviembre de 2021  
REF.EPS.DOC.03.11.21

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **BRANDON RENÉ HIPP MÉNDEZ, Registro Académico No. 201503403** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO ANALISIS DE VIBRACIONES COMO METODO DE MONITOREO POR CONDICION, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE GENERACION DE ENERGIA EN INGENIO MAGDALENA S, A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



NISZ/ns



Guatemala 3 de noviembre de 2021.  
REF.EPS.D.03.11.2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

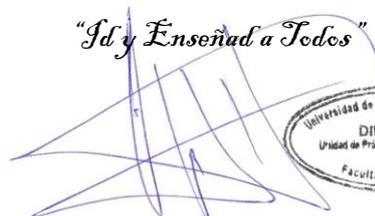
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) titulado **PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO ANALISIS DE VIBRACIONES COMO METODO DE MONITOREO POR CONDICION, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE GENERACION DE ENERGIA EN INGENIO MAGDALENA S, A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Brandon René Hipp Méndez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.008.2022

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO ANÁLISIS DE VIBRACIONES COMO MÉTODO DE MONITOREO POR CONDICIÓN, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN INGENIO MAGDALENA, S.A.** del estudiante **Brandon René Hipp Méndez, CUI 2976057711217, Reg. Académico No. 201503403** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

***"Id Y Enseñad a todos"***



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Revisor – Área Complementaria  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, enero de 2022  
/aej

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.058.EIM.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO ANALISIS DE VIBRACIONES COMO METODO DE MONITOREO POR CONDICION, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE GENERACION DE ENERGIA EN INGENIO MAGDALENA S, A.**, presentado por: **Brandon René Hipp Méndez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



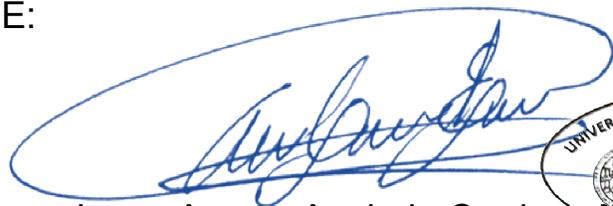
Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, marzo de 2022

LNG.DECANATO.OI.141.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO ANALISIS DE VIBRACIONES COMO METODO DE MONITOREO POR CONDICION, PARA LOS EQUIPOS DE UN BLOQUE DE GENERACION DE ENERGIA EN INGENIO MAGDALENA S, A.,** presentado por: **Brandon René Hipp Méndez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Porque sin Él nada en esta vida sería posible, por darme ánimos y brindarme la fuerza necesaria para poder cumplir mis metas.
- Mis padres** René Hipp Robles y Norma Elizabeth Méndez García, por brindarme la vida, por su amor, paciencia, apoyo, comprensión, motivación; por darme todo lo necesario para cumplir esta meta, gracias por todo, los amo.
- Mis hermanos** A mis hermanos por nombre, por sus enseñanzas y apoyo en los momentos duros, los amo.
- Mi familia** A toda mi familia, por ser parte importante de mi vida, los quiero.
- Mis amigos** A todos mis amigos, por su amistad; por ser parte importante en mi vida y en mi formación profesional.
- Amigos ingenieros** A todos mis amigos ingenieros de la universidad y de IMSA, en especial al Ing. Chicojay y al Ing. Juan Francisco López por su apoyo, motivación y por compartirme sus conocimientos.

## AGRADECIMIENTOS A:

|   |   |
|---|---|
| <b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por ser el <i>alma máter</i> que me brindó la oportunidad de formarme como profesional.                         |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                 | Por formarme como profesional.  |
| <b>Ingenio Magdalena</b>                      | Por darme la oportunidad de realizar mí EPS en sus instalaciones.   |
| <b>Área de Cogeneración</b>                   | Por el apoyo, consejos y compañerismo mostrado en el trayecto de mí proyecto.                                   |
| <b>Ing. Carlos Chicojay</b>                   | Por su valioso tiempo dedicado a la asesoría de mi proyecto.  |
| <b>Ing. Juan Francisco</b>                    | Por su asesoría dentro y fuera de las instalaciones de Ingenio Magdalena.                                       |
| <b>Mis amigos</b>                             | Por su amistad, los momentos alegres dentro y fuera del campus universitario y el apoyo cuando más lo necesite. |

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....   | VII  |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....   | XIII |
| GLOSARIO .....  | XV   |
| RESUMEN.....  | XVII |
| OBJETIVOS.....  | XIX  |
| INTRODUCCIÓN .....  | XXI  |
| <br>  |      |
| 1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....  | 1    |
| 1.1. Descripción de la empresa .....  | 1    |
| 1.1.1. Ubicación e historia .....   | 1    |
| 1.1.2. Misión .....   | 2    |
| 1.1.3. Visión.....  | 2    |
| 1.1.4. Valores .....  | 2    |
| 1.1.5. Política de gestión .....  | 2    |
| 1.1.6. Organigrama.....   | 3    |
| 1.2. Descripción de problema .....  | 3    |
| 1.3. Control de mantenimiento preventivo en los equipos<br>rotativos de un bloque de generación de energía de 62 MW ....              | 5    |
| 1.3.1. Gestión de control de mantenimiento preventivo<br>en equipos rotativos de un bloque de generación<br>de energía de 62 MW ..... | 5    |
| 1.4. Control de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos<br>que conforman un bloque de generación de energía de<br>62 MW .....  | 7    |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 1.4.1.     | Gestión de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía de 62 MW .....   | 7  |
| 1.5.       | Análisis de una propuesta para el plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición, para los equipos rotativos de un bloque de generación de energía de 62 MW ..... | 9  |
| 1.5.1.     | Vibración simple .....  | 9  |
| 1.5.2.     | Vibración compuesta.....  | 10 |
| 1.5.3.     | Vibración aleatoria y golpe intermitente .....  | 11 |
| 1.5.4.     | Desplazamiento, velocidad y aceleración de vibración.....   | 12 |
| 1.6.       | Mantenimiento.....  | 12 |
| 1.6.1.     | Objetivo del mantenimiento.....   | 13 |
| 1.6.2.     | Tipos de mantenimiento a utilizar en una propuesta de un plan de mantenimiento para los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía de 62 MW .....   | 15 |
| 1.6.2.1.   | Mantenimiento preventivo .....  | 15 |
| 1.6.2.1.1. | Ventajas del mantenimiento preventivo.....  | 16 |
| 1.6.2.1.2. | Desventajas del mantenimiento preventivo.....   | 16 |
| 1.6.2.2.   | Mantenimiento basado en condición (CBM).....  | 17 |

|       |            |  |    |
|-------|------------|--|----|
|       | 1.6.2.2.1. | Ventajas del mantenimiento basado en condición.....  | 18 |
|       | 1.6.2.2.2. | Desventajas del mantenimiento basado en condición.....   | 18 |
| 1.7.  |            | Gestión de mantenimiento.....  | 19 |
| 1.8.  |            | Caldera acuotubular .....  | 20 |
|       | 1.8.1.     | Especificaciones de caldera Isgec.....   | 21 |
| 1.9.  |            | Turbina de vapor .....   | 21 |
|       | 1.9.1.     | Especificaciones turbina de vapor Siemens .....  | 22 |
| 1.10. |            | Vibraciones mecánicas.....   | 23 |
|       | 1.10.1.    | Causas de vibraciones mecánicas .....  | 24 |
| 1.11. |            | Sistema de análisis de vibraciones.....  | 24 |
| 1.12. |            | Parámetros de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman una caldera acuotubular Isgec ..... | 26 |
| 1.13. |            | Parámetros de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman una turbina de vapor Siemens .....  | 27 |
| 2.    |            | FASE TECNICO PROFESIONAL .....   | 29 |
|       | 2.1.       | Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones.....                        | 29 |
|       |            | 2.1.1. Fortalecimiento del área de mantenimiento .....   | 29 |
|       |            |  |    |
|       |            | 2.1.1.1. Planeación estratégica del departamento de mantenimiento .....  | 30 |
|       |            |  |    |
|       |            | 2.1.1.2. Tácticas y estrategias .....  | 30 |
|       |            |  |    |
|       |            | 2.1.1.2.1. Análisis de Fortalezas, oportunidades,  |    |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
|          | debilidades y<br>amenazas (FODA) .....  | 30  |
| 2.1.1.3. | Estrategias .....   | 31  |
|          | 2.1.1.3.1. Matriz FODA .....  | 31  |
|          | 2.1.1.3.2. Capacitación .....   | 33  |
|          | 2.1.1.3.3. Empowerment.....   | 33  |
| 2.1.2.   | Metodología del mantenimiento preventivo<br>utilizando análisis de vibraciones .....  | 33  |
| 2.1.2.1. | Hojas de paros .....  | 34  |
| 2.1.2.2. | Check list.....   | 36  |
| 2.1.2.3. | Orden de mantenimiento.....   | 38  |
| 2.1.2.4. | Programación de paradas de<br>mantenimiento.....  | 40  |
| 2.1.2.5. | <i>Stock</i> de repuestos.....  | 41  |
| 2.1.3.   | Mantenimiento preventivo utilizando análisis de<br>vibraciones .....  | 42  |
| 2.1.3.1. | Análisis de mantenimiento preventivo<br>utilizando vibraciones como método<br>de monitoreo por condición para los<br>equipos rotativos que conforman una<br>caldera Isgec.....            | 43  |
| 2.1.3.2. | Análisis de mantenimiento preventivo<br>utilizando vibraciones como método<br>de monitoreo por condición para los<br>equipos rotativos que conforman una<br>turbina de vapor Siemens..... | 89  |
| 2.1.3.3. | Cronograma utilizando análisis de<br>vibraciones .....  | 161 |

|      |          |  |     |
|------|----------|--|-----|
|      | 2.1.3.4. | Funcionamiento del plan de mantenimiento utilizando análisis de vibraciones.....   | 162 |
| 2.2. |          | Costo del mantenimiento utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en una caldera acuatubular Isgec .....   | 163 |
|      | 2.2.1.1. | Listado de repuestos a utilizar en 3 bombas de alimentación de agua .....  | 163 |
|      | 2.2.2.   | Listado de repuestos a utilizar en 2 ventiladores inducidos .....  | 165 |
|      | 2.2.3.   | Listado de repuestos a utilizar en 2 ventiladores primarios.....   | 166 |
|      | 2.2.4.   | Listado de repuestos a utilizar en 2 ventiladores secundarios .....  | 167 |
|      | 2.2.5.   | Costo total utilizando técnicos mecánicos y repuestos para el mantenimiento, utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en caldera acuatubular Isgec..... | 168 |
| 2.3. |          | Costo del mantenimiento utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en turbina de vapor Siemens.....   | 171 |
|      | 2.3.1.   | Listado de repuestos a utilizar en bombas de lubricación.....  | 172 |
|      | 2.3.2.   | Listado de repuestos a utilizar en bombas de circulación.....  | 173 |
|      | 2.3.3.   | Listado de repuestos a utilizar en bombas de condensado .....  | 174 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 2.3.4. | Listado de repuestos a utilizar en bombas de enfriamiento.....   | 175 |
| 2.3.1. | Listado de repuestos a utilizar en bombas de vacío.....  | 176 |
| 2.3.2. | Listado de repuestos a utilizar en ventiladores de torres de enfriamiento .....  | 177 |
| 2.3.3. | Costo total utilizando técnicos mecánicos y repuestos para el mantenimiento, utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en turbina de vapor Siemens. .... | 178 |
| 3.     | FASE DE DOCENCIA.....  | 185 |
| 3.1.   | Desarrollo del plan de capacitación .....  | 185 |
| 3.1.1. | Objetivo .....   | 185 |
| 3.1.2. | Meta .....   | 186 |
| 3.1.3. | Estrategia .....   | 186 |
| 3.1.4. | Matriz capacitación.....   | 188 |
|        | CONCLUSIONES.....  | 189 |
|        | RECOMENDACIONES .....  | 191 |
|        | BIBLIOGRAFÍA.....  | 193 |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Organigrama .....  | 3  |
| 2.  | Representación de una onda sinusoidal de vibraciones .....                     | 10 |
| 3.  | Vibración aleatoria.....   | 11 |
| 4.  | Onda de un golpeo intermitente .....   | 11 |
| 5.  | Caldera isgec.....   | 20 |
| 6.  | Especificaciones, caldera isgec .....  | 21 |
| 7.  | Turbina de vapor .....   | 22 |
| 8.  | Especificaciones, turbina de vapor siemens .....                               | 23 |
| 9.  | Niveles de vibración referencial de alarma.....                                | 25 |
| 10. | Criterio de severidad para vibraciones mecánicas.....                          | 26 |
| 11. | Valores aceptables de vibración, caldera isgec .....                           | 27 |
| 12. | Valores aceptables de vibración, turbina de vapor siemens .....                | 27 |
| 13. | Formato de hoja de paro “caldera isgec”.....                                   | 35 |
| 14. | Formato de hoja de paro “turbina de vapor siemens”.....                        | 36 |
| 15. | Formato de hoja de <i>check list</i> “caldera isgec” .....                     | 37 |
| 16. | Formato de hoja de <i>check list</i> “turbina de vapor siemens” .....          | 37 |
| 17. | Formato de orden de mantenimiento .....  | 39 |
| 18. | Formato de hoja de programación de paradas de mantenimiento .....              | 41 |
| 19. | Comportamiento de vibraciones en bomba de alimentación de agua<br>1, c12 ..... | 46 |
| 20. | Comportamiento de vibraciones en bomba de alimentación de agua<br>2, c12 ..... | 51 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 21. | Comportamiento de vibraciones en bomba de alimentación de agua<br>3, c12 .....           | 55  |
| 22. | Comportamiento de vibraciones en ventilador inducido 1, c12 .....                        | 58  |
| 23. | Comportamiento de vibraciones en ventilador inducido 1, c12 .....                        | 63  |
| 24. | Comportamiento de vibraciones en ventilador primario 1, c12 .....                        | 69  |
| 25. | Comportamiento de vibraciones en ventilador primario 2, c12 .....                        | 74  |
| 26. | Comportamiento de vibraciones en ventilador secundario 1, c12 .....                      | 80  |
| 27. | Comportamiento de vibraciones en ventilador secundario 2, c12 .....                      | 85  |
| 28. | Resumen de tendencias lineales en equipos rotativos, c12 .....                           | 89  |
| 29. | Comportamiento de vibraciones en bomba de lubricación 1 .....                            | 92  |
| 30. | Comportamiento de vibraciones en bomba de lubricación 2 .....                            | 98  |
| 31. | Comportamiento de vibraciones en bomba de circulación 1 .....                            | 104 |
| 32. | Comportamiento de vibraciones en bomba de circulación 2 .....                            | 109 |
| 33. | Comportamiento de vibraciones en bomba de condensado 1 .....                             | 115 |
| 34. | Comportamiento de vibraciones en bomba de condensado 2 .....                             | 120 |
| 35. | Comportamiento de vibraciones en bomba de enfriamiento 1 .....                           | 126 |
| 36. | Comportamiento de vibraciones en bomba de enfriamiento 2 .....                           | 131 |
| 37. | Comportamiento de vibraciones en bomba de vacío 1 .....                                  | 137 |
| 38. | Comportamiento de vibraciones en bomba de vacío 2 .....                                  | 141 |
| 39. | Comportamiento de vibraciones en bomba de ventilador de torre de<br>enfriamiento 1 ..... | 147 |
| 40. | Comportamiento de vibraciones en bomba de ventilador de torre de<br>enfriamiento 2 ..... | 152 |
| 41. | Comportamiento de vibraciones en bomba de ventilador de torre de<br>enfriamiento 3 ..... | 157 |
| 42. | Resumen de tendencias lineales en equipos rotativos, tbs .....                           | 161 |
| 43. | Listado de repuestos y materiales para bomba de alimentación de<br>agua 1, c12 .....     | 163 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 44. | Listado de repuestos y materiales para bomba de alimentación de agua 2, c12.....            | 164 |
| 45. | Listado de repuestos y materiales para bomba de alimentación de agua 3, c12.....            | 164 |
| 46. | Listado de repuestos y materiales para ventilador inducido 1, c12 ....                      | 165 |
| 47. | Listado de repuestos y materiales para ventilador inducido 2, c12 ....                      | 165 |
| 48. | Listado de repuestos y materiales para ventilador primario 1, c12 ....                      | 166 |
| 49. | Listado de repuestos y materiales para ventilador primario 2, c12 ....                      | 166 |
| 50. | Listado de repuestos y materiales para ventilador secundario 1, c12                         | 167 |
| 51. | Listado de repuestos y materiales para ventilador secundario 2, c12                         | 167 |
| 52. | Costo mantenimiento en bomba de alimentación de agua.....                                   | 168 |
| 53. | Costo mantenimiento en ventilador inducido.....   | 169 |
| 54. | Costo mantenimiento en ventilador primario .....  | 169 |
| 55. | Costo mantenimiento en ventilador secundario .....  | 170 |
| 56. | Costo mantenimiento en equipos rotativos en caldera isgec .....                             | 170 |
| 57. | Costo total equipos rotativos en caldera isgec .....  | 171 |
| 58. | Listado de repuestos y materiales para bomba de lubricación 1 .....                         | 172 |
| 59. | Listado de repuestos y materiales para bomba de lubricación 2.....                          | 172 |
| 60. | Listado de repuestos y materiales para bomba de circulación 1 .....                         | 173 |
| 61. | Listado de repuestos y materiales para bomba de circulación 2.....                          | 173 |
| 62. | Listado de repuestos y materiales para bomba de condensado 1 .....                          | 174 |
| 63. | Listado de repuestos y materiales para bomba de condensado 2 .....                          | 174 |
| 64. | Listado de repuestos y materiales para bomba de enfriamiento 1 .....                        | 175 |
| 65. | Listado de repuestos y materiales para bomba de enfriamiento 2 .....                        | 175 |
| 66. | Listado de repuestos y materiales para bomba de vacío 1 .....                               | 176 |
| 67. | Listado de repuestos y materiales para bomba de vacío 2 .....                               | 176 |
| 68. | Listado de repuestos y materiales para bomba de ventilador de torre de enfriamiento 1 ..... | 177 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 69. | Listado de repuestos y materiales para bomba de ventilador de torre de enfriamiento 2 ..... | 177 |
| 70. | Listado de repuestos y materiales para bomba de ventilador de torre de enfriamiento 3 ..... | 178 |
| 71. | Costo mantenimiento en bomba de lubricación .....   | 179 |
| 72. | Costo mantenimiento en bomba de circulación .....   | 179 |
| 73. | Costo mantenimiento en bomba de condensado.....   | 180 |
| 74. | Costo mantenimiento en bomba de enfriamiento .....  | 180 |
| 75. | Costo mantenimiento en bomba de vacío.....  | 181 |
| 76. | Costo mantenimiento en bomba de ventilador de torre de enfriamiento .....                   | 182 |
| 77. | Costo mantenimiento en equipos rotativos en turbina de vapor siemens .....                  | 182 |
| 78. | Costo total equipos rotativos en turbina de vapor siemens.....                              | 183 |
| 79. | Capacitación al personal del área de cogeneración .....                                     | 187 |

## TABLAS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.    | Matriz dofa.....  | 32 |
| II.   | Valores de vibración bomba alimentación de agua 1, c12..... | 45 |
| III.  | Valores de vibración bomba alimentación de agua 2, c12..... | 50 |
| IV.   | Valores de vibración bomba alimentación de agua 3, c12..... | 54 |
| V.    | Valores de vibración ventilador inducido 1, c12.....        | 57 |
| VI.   | Valores de vibración ventilador inducido 2, c12.....        | 62 |
| VII.  | Valores de vibración ventilador primario 1, c12 .....       | 68 |
| VIII. | Valores de vibración ventilador primario 2, c12 .....       | 73 |
| IX.   | Valores de vibración ventilador secundario 1, c12.....      | 79 |
| X.    | Valores de vibración ventilador secundario 2, c12.....      | 84 |
| XI.   | Valores de vibración bomba de lubricación 1 .....           | 91 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| XII.   | Valores de vibración bomba de lubricación 2.....                    | 97  |
| XIII.  | Valores de vibración bomba de circulación 1 .....                   | 103 |
| XIV.   | Valores de vibración bomba de circulación 2 .....                   | 108 |
| XV.    | Valores de vibración bomba de condensado 1 .....                    | 114 |
| XVI.   | Valores de vibración bomba de condensado 2 .....                    | 119 |
| XVII.  | Valores de vibración bomba de enfriamiento 1 .....                  | 125 |
| XVIII. | Valores de vibración bomba de enfriamiento 2 .....                  | 130 |
| XIX.   | Valores de vibración bomba de vacío 1 .....                         | 136 |
| XX.    | Valores de vibración bomba de vacío 2 .....                         | 140 |
| XXI.   | Valores de vibración bomba de ventilador torre enfriamiento 1 ..... | 146 |
| XXII.  | Valores de vibración bomba torre de enfriamiento 2.....             | 151 |
| XXIII. | Valores de vibración ventilador torre de enfriamiento 3 .....       | 156 |
| XXIV.  | Matriz de capacitación para el área de taller.....                  | 188 |



## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b>  | <b>Significado</b>                |
|-----------------|-----------------------------------|
| <b>B6</b>       | Bloque 6                          |
| <b>C12</b>      | Caldera 12                        |
| <b>C</b>        | Calidad                           |
| <b>AC</b>       | Corriente alterna                 |
| <b>DC</b>       | Corriente continúa                |
| <b>Costo HH</b> | Costo horas hombre                |
| <b>D</b>        | Disponibilidad                    |
| <b>EPS</b>      | Ejercicio profesional supervisado |
| <b>H</b>        | Horas                             |
| <b>HH</b>       | Horas hombre                      |
| <b>Imsa</b>     | Ingenio Magdalena, S.A.           |
| <b>Mantto.</b>  | Mantenimiento                     |
| <b>MW</b>       | Megavatios                        |
| <b>Q</b>        | Quetzales                         |
| <b>Q/DÍA</b>    | Quetzales por día                 |
| <b>RPM</b>      | Revoluciones por minuto           |
| <b>TON</b>      | Tonelada                          |
| <b>TON/H</b>    | Toneladas por hora                |
| <b>TBS</b>      | Turbina de vapor Siemens          |



## GLOSARIO

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Acelerómetro</b>          | Instrumento para medir aceleraciones.  |
| <b>Carbón</b>                | Roca sedimentaria organógena de color negro, utilizada como combustible fósil.   |
| <b>CBM</b>                   | <i>Condition-Based Maintenance.</i>  |
| <b>Check list</b>            | Lista de control.  |
| <b>Isgec</b>                 | Marca de caldera acuatubular.  |
| <b>Maquinaria Industrial</b> | Conjunto de máquinas usadas para un determinado fin.   |
| <b>Siemens</b>               | Marca de turbina de vapor.   |
| <b>Vibración</b>             | Es la variación en el tiempo de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico alrededor de un punto de equilibrio de forma alternativa. |
| <b>ZAFRA</b>                 | Es la temporada en la cual se cosecha la caña para la producción de azúcar, energía y alcohol.   |



## RESUMEN

El presente trabajo escrito es el informe del anteproyecto del ejercicio profesional supervisado realizado en el ingenio azucarero Magdalena, S.A, específicamente en el área de cogeneración, área que tiene como función el aprovechar de forma más rentable cada tonelada de carbón para la generación de energía evitando paros no programados por mantenimiento, contribuyendo a la economía del ingenio, al ahorro energético y a la mejora de la conservación del equipo de generación de energía.

Se describieron algunos de los conceptos más importantes e indispensables para el correcto entendimiento del ejercicio profesional supervisado que fue desarrollado, por ejemplo: caldera acuotubular, turbina de vapor, entre otros.

Se presentaron los pasos que se desarrollaron para la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones para establecer cuando intervenir el bloque por mantenimiento preventivo en el bloque de generación de energía, con el fin de obtener una mejora en la planificación anual del presupuesto estimada para el área de cogeneración de IMSA.

Además, se describieron los pasos a seguir para la adecuada capacitación del personal operativo con respecto a nuevos seguimientos o procedimientos realizados con el objetivo de obtener personas preparadas y con conocimientos con relación al mantenimiento preventivo y análisis de vibraciones.

Por último, se realizó un estudio de los altos niveles de vibraciones que generan los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía, determinándolo por medio de los análisis de vibraciones.

# OBJETIVOS

## General

Mejorar el control de mantenimientos preventivos utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición.

## Específicos

1. Elaborar propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para los equipos rotativos de un bloque de generación de energía de 62 MW.
2. Realizar un análisis de vibraciones mecánicas para los equipos rotativos de un bloque de generación de energía de 62 MW.
3. Capacitar a supervisores y personal operativo acerca del seguimiento y proceso correcto del mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones.



## INTRODUCCIÓN

Ingenio Magdalena S, A es una empresa que se divide en tres ramas principales; fabrica que es la encargada de la producción de azúcar y energía eléctrica, taller quien se encarga del mantenimiento a la maquinaria utilizada por el personal de toda la empresa y campo quien es el encargado de todos los procesos necesarios para obtener una buena cosecha.

Actualmente Magdalena cuenta con 10 calderas y 12 turbogeneradores en el área de cogeneración, las cuales se dividen en: 8 de generación de vapor para enviar a fábrica y 2 de generación de energía eléctrica. La mayoría de estas utiliza bagazo y leña para la generación de vapor y carbón para la generación de energía.

En consideración a lo anterior Ingenio Magdalena S.A busco realizar un estudio que tiene como título “Propuesta para el plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición, para los equipos de un bloque de generación de energía”, para los equipos rotativos de una caldera acuotubular Isgec y un turbogenerador Siemens. Esto se realizó con el fin de obtener un proyecto en el cual nosotros mismos como empresa establezcamos nuestros parámetros de vibraciones para todos nuestros equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía y así nosotros también podamos establecer cuando se debe realizar mantenimiento preventivo para los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía.



# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Descripción de la empresa**

A continuación, se da a conocer la descripción de la empresa.

### **1.1.1. Ubicación e historia**

Magdalena, S.A. es una empresa líder en producción de azúcar y energía con base en Guatemala y con más de 36 años de operación.

Posee una capacidad de molienda de 15 millones de toneladas de caña de azúcar, produciendo más de 250 mil toneladas de azúcar al año para el mercado local y exportación alrededor del mundo. Cuenta con capacidad de producir 293 MW de energía eléctrica para el mercado regional.

La familia Magdalena llega a integrar más de 14 000 colaboradores que, con un firme compromiso con la calidad, la mejora continua de los procesos y la optimización de recursos busca a diario alcanzar mayores niveles de productividad, contribuyendo al crecimiento integral de la empresa y de Guatemala.

El centro de operaciones de Magdalena, S.A. se encuentra ubicado en el kilómetro 99,5 carretera a Sipacate, La Democracia, Escuintla. Interior Finca Bugarvilla, Guatemala C.A, A una distancia de 87 kilómetros de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **1.1.2. Misión**

Desarrollar y comercializar, de forma sostenible, productos agrícolas, alimenticios y energéticos, mejorando la calidad de vida de las personas.

### **1.1.3. Visión**

Al 2020 seremos una empresa líder en costos y productividad.

### **1.1.4. Valores**

Honestidad, Humildad, Pasión por los logros. Sembramos honestidad, humildad y pasión por los logros para cosechar mejores personas.

### **1.1.5. Política de gestión**

En Magdalena estamos comprometidos a cumplirlos requisitos de las partes interesadas a través de:

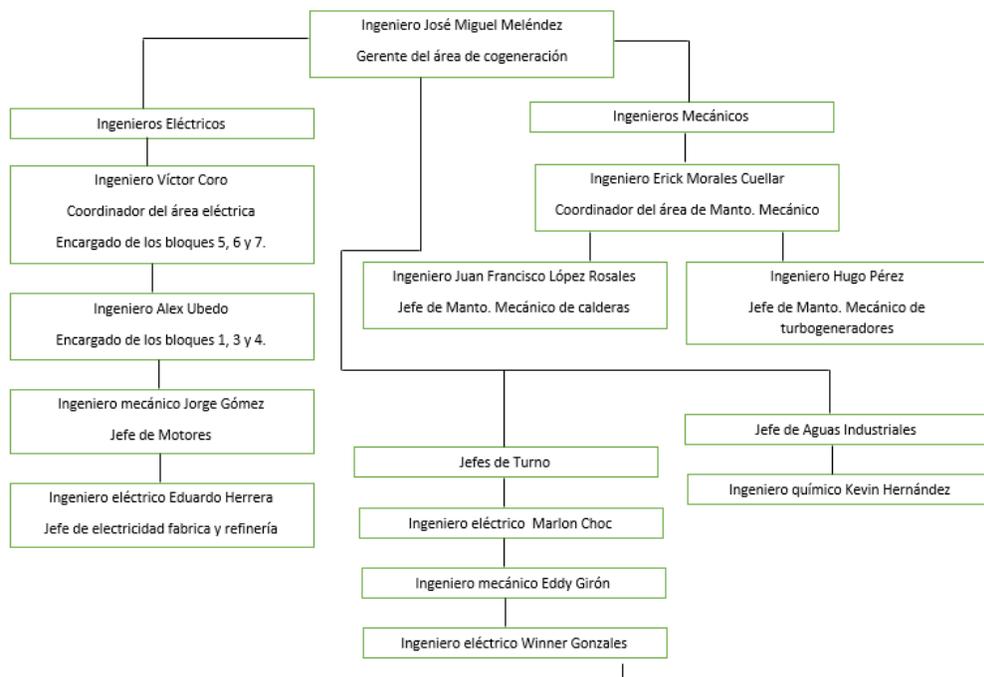
- Productos que cumplan con las necesidades y expectativas de los clientes.
- Desarrollo de una cultura de servicio.
- Mejora continua de nuestras capacidades humanas y tecnológicas con innovación, eficiencia y productividad.
- Desarrollo de nuestro entorno social, ambiental y económico.

Este compromiso es la base para lograr la rentabilidad y sostenibilidad del negocio.

### 1.1.6. Organigrama

A continuación, se presenta la forma que está organizado el área de cogeneración de IMSA:

Figura 1. Organigrama



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

### 1.2. Descripción de problema

El área de cogeneración de ingenio Magdalena, S.A ha tenido un constante proceso de mejora y expansión en la mayoría de las áreas actuales que lo componen, entre estas áreas encontramos el área de cogeneración la cual es muy importante que tenga un progreso constante debido a la cantidad de maquinaria industrial que posee, actualmente se cuenta con 10 calderas y

12 turbogeneradores, las cuales se dividen: 8 calderas se encargan de la generación de vapor para enviar a fabrica y 2 calderas se encargan de generación de energía eléctrica.

El área de cogeneración maneja un presupuesto anual el cual una parte es utilizada para la compra de carbón para la generación de energía eléctrica, por lo que es de suma importancia tener un programa de mantenimiento utilizando análisis de vibraciones para nosotros establecer cuando programar un paro y aplicar dicho mantenimiento a los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía se sabe que los paros no programados son desperfectos mecánicos, los cuales no han sido identificados.

El realizarse un estudio comparativo y detección de niveles altos de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía tiene como objetivo de determinar porque presenta niveles altos de vibraciones mecánicas.

Dado las causas que ocasionan los niveles altos de vibraciones mecánicas se facilitan los procedimientos para la obtención del óptimo funcionamiento del bloque de generación de energía de 62 MW.

Dada las causas que ocasionan el consumo excesivo de combustible se facilitan los procedimientos para la obtención del óptimo funcionamiento de la maquinaria.

### **1.3. Control de mantenimiento preventivo en los equipos rotativos de un bloque de generación de energía de 62 MW**

Todo tipo de control de mantenimiento preventivo tiene como objetivo evitar paros no programados, poder aprovechar de la manera más rentable cada hora de trabajo operacional y a la mejora de la conservación del equipo, por consiguiente, se busca la disminución de costos para la empresa. Este se logra por medio de normas, procedimientos y reglas establecidas conforme el beneficio de la industria.

La base para el establecimiento de un adecuado programa de mantenimiento preventivo en los equipos rotativos de un bloque de generación de energía es el preciso conocimiento del mantenimiento preventivo de la caldera acuotubular Isgec. En cuanto mejor se detalle el control del mantenimiento preventivo, mayor será la eficiencia del mantenimiento aplicado.

#### **1.3.1. Gestión de control de mantenimiento preventivo en equipos rotativos de un bloque de generación de energía de 62 MW**

Es imprescindible que, para llevar el control de mantenimiento preventivo en los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía es de suma importancia que el personal a cargo del mantenimiento lleve un control estricto, con fecha y horas de trabajo de los equipos.

El personal encargado del mantenimiento deberá tener un formulario donde indique que repuestos se encontraban en buenas condiciones y cuales no se encontraban en buenas condiciones, además tendrá que apuntar que repuesto

se cambió, y entregar al finalizar el mantenimiento al jefe inmediato o encargado de esta.

El responsable de la gestión de los datos del mantenimiento preventivo a los equipos rotativos del bloque de generación de energía incorporará esta información en una hoja de cálculo fácilmente tratable o un sistema diseñado para el análisis de mantenimiento preventivo, esto con el fin de obtener un mejor control.

La periodicidad adecuada para el control de mantenimiento preventivo en los equipos rotativos deberá ser constante, aunque los equipos que no cuenten con muchas horas de trabajo podrán extender a bimestral o trimestral, y en los equipos con muchas horas de trabajo, reducir a quincenal o incluso a semanal.

También resulta de gran utilidad la confección de gráficos de mantenimientos preventivos de manera que a simple vista y sin tener que estudiar detenidamente los mantenimientos, se vean reflejados fácilmente cuando se necesita aplicar un mantenimiento, a estos gráficos se le conocen como tendencias de análisis de mantenimientos preventivos a los equipos rotativos de un bloque de generación de energía.

De esta manera, para el control de mantenimiento preventivo se tendrá una visión sencilla y bastante clara de cuáles son los mantenimientos preventivos más habituales del equipo a controlar, y se percibirá la posible existencia de algunos puntos que excedan los mantenimientos preventivos habituales del equipo de generación de energía.

#### **1.4. Control de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía de 62 MW**

El control de análisis de vibraciones en equipos rotativos en un bloque de generación de energía permite aprovechar de manera más rentable cada hora de trabajo operacional.

La base para el establecimiento de un adecuado análisis de vibraciones mecánicas es el preciso conocimiento de los equipos rotativos. Cuanto mayor sea la precisión y detalle con que se lleve a cabo el control de análisis de vibraciones mecánicas, mayor será la eficiencia del equipo.

El control de análisis de vibraciones mecánicas para los equipos rotativos es de suma importancia para poder decir nosotros mismos cuando aplicar un mantenimiento preventivo para no parar operación y evitar pérdidas de dinero por falta de controles efectivos, y así garantizar tener un equipo en óptimas condiciones para operación.

##### **1.4.1. Gestión de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía de 62 MW**

Es imprescindible que, para llevar el control de análisis de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía es de suma importancia que el personal a cargo del análisis de vibraciones mecánicas lleve un control estricto, con fecha y horas de trabajo en los equipos.

El personal encargado del análisis de vibraciones mecánicas deberá tener hojas de bitácora donde coloque los datos de vibraciones mecánicas y entregar al finalizar la jornada laboral al jefe inmediato o encargado de esta.

El responsable de la gestión de los datos de vibraciones mecánicas de los equipos rotativos del bloque de generación de energía incorporará esta información en hojas de cálculos fácilmente entendible, esto con el fin de obtener un mejor control de los parámetros de vibraciones mecánicas.

La periodicidad adecuada para el control de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos deberá ser constante en todos los equipos que conformen el bloque de generación de energía.

También resulta de gran utilidad la confección de gráficos de las vibraciones mecánicas en los equipos rotativos de manera que a simple vista y sin tener que estudiar detenidamente los parámetros de vibraciones mecánicas, se vean reflejados fácilmente cuando se necesita parar el equipo para aplicarle su respectivo mantenimiento preventivo a los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía, a estos gráficos se le conocen como parámetros de análisis de vibraciones mecánicas a los equipos rotativos de un bloque de generación de energía.

De esta manera, para el control de vibraciones mecánicas se tendrá una visión sencilla y bastante clara de cuáles son los parámetros de vibraciones mecánicas más habituales de los equipos rotativos a controlar, y se percibirá la posible existencia de algunos puntos que excedan los parámetros de vibraciones mecánicas habituales del equipo de generación de energía.

## **1.5. Análisis de una propuesta para el plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición, para los equipos rotativos de un bloque de generación de energía de 62 MW**

De acuerdo con ISO 2041, la vibración es la variación del tiempo de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico alrededor de un punto de equilibrio de forma alternativa, siendo su valor mayor o menor.

### **1.5.1. Vibración simple**

De acuerdo con AMAQ-S.A., es una vibración cuya representación en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales y son la representación de las señales más puras de vibración.

De una señal de vibración u onda sinusoidal se tiene: la amplitud  $X$ , el período  $P$  y la frecuencia  $F$ ; la frecuencia es el recíproco del período y es usualmente medida en Hz (ciclos/s).

En el contexto de vibraciones, la amplitud es la cantidad del movimiento que puede tener un cuerpo a partir de un punto de equilibrio o neutral, se mide regularmente en valores pico-pico para desplazamiento y valores cero-pico y RMS para la velocidad y la aceleración.

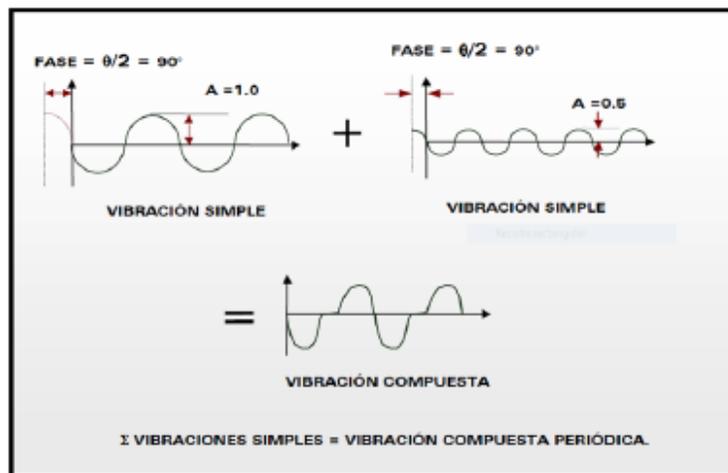
Otro elemento importante en vibraciones es la fase, que realmente es la separación en tiempo entre dos señales y se miden en grados.

### 1.5.2. Vibración compuesta

En el campo de la maquinaria industrial, es el resultante de todas las señales sinusoidales de todos los componentes que se encuentran en las máquinas.

Gráficamente se representa en la siguiente ilustración:

Figura 2. Representación de una onda sinusoidal de vibraciones



Fuente: A-MAQ S.A. *Ondas de vibraciones*. <https://ingemecanica.com/tutoriales/ondas.html>.

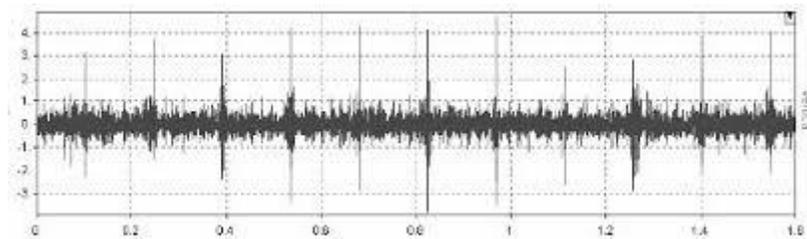
Consulta: 3 de septiembre de 2020.

### 1.5.3. Vibración aleatoria y golpe intermitente

También existen vibraciones que no cumplen patrones especiales o que se repiten constantemente o que simplemente no se puede determinar donde comienzan y donde terminan, estas son vibraciones aleatorias y ejemplos de ellas las constituyen las turbulencias en equipos de bombeo, cavitación, problemas asociados a lubricación y contacto directo de metal con metal.

Con las ilustraciones siguientes se puede apreciar cuanto se ha complicado la representación de las vibraciones de un equipo.

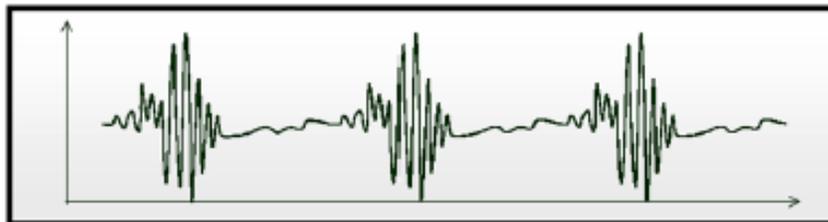
Figura 3. **Vibración aleatoria**



Fuente: A-MAQ S.A. *Vibración aleatoria*. <https://ingemecanica.com/tutoriales/ondas.html>.

Consulta: 3 de septiembre de 2020.

Figura 4. **Onda de un golpe intermitente**



Fuente: A-MAQ S.A. *Onda de golpe intermitente*. <https://ingemecanica.com/tutoriales/ondas.html>.

Consulta: 3 de septiembre de 2020.

#### **1.5.4. Desplazamiento, velocidad y aceleración de vibración**

Son las tres formas de medir la amplitud de las vibraciones y en combinación muestran la severidad real de las vibraciones.

Cada una presenta ventajas sobre las restantes, por lo tanto, es recomendable para el analista medirlas todas para obtener una mejor apreciación de la condición del equipo.

#### **1.6. Mantenimiento**

El mantenimiento se interpreta como mantenimiento a la actividad humana que garantiza la existencia de un servicio dentro de una calidad esperada; también se divide en mantenimiento correctivo o preventivo; será preventivo, si los trabajos se ejecutan para evitar que se pierda la calidad de servicio, y correctivo si los trabajos son necesarios porque dicha calidad del servicio ya se perdió.

El servicio se mantiene y la máquina se preserva, de aquí el concepto de conservación, para lo cual es importante mencionar que, la calidad del servicio se mide por el número de quejas recibidas por parte de los usuarios y la calidad de una máquina se mide en el bajo porcentaje de fallas.

Por lo tanto, el mantenimiento es un grupo de acciones orientadas a preservar, mejorar y asegurar que sus equipos e instalaciones operen bajo los parámetros establecidos. Utilizando técnicas que garanticen la operatividad, respetando la salud, seguridad y medio ambiente, todo esto basando su desempeño en condiciones de fiabilidad, con un costo mínimo y a largo plazo.

Se define como mantenimiento a la agrupación de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de detectar, corregir o prevenir los problemas ocasionados por las fallas potenciales de las funciones de una máquina o equipo a fin de asegurar que una instalación, sistema industrial, una máquina u otro activo fijo continúen realizando las funciones para las que fueron creadas manteniendo la capacidad y la calidad especificadas. Hoy en día el mantenimiento industrial tiene una inclinación, y que no sólo involucra al grupo operacional de mantenimiento sino también a toda la organización ya que es una de las áreas primordiales para mantener y mejorar la productividad, teniendo en cuenta que el mantenimiento incide en la calidad y costos de la producción.

Se explica que el mantenimiento constituye un sistema dentro de toda organización industrial; y desde una perspectiva básica, su función consiste en realizar las reparaciones, ajustes, modificaciones y reemplazos de componentes en los equipos para que puedan operar satisfactoriamente durante un período de tiempo específico.

Dada la incidencia significativa que el mantenimiento tiene sobre la producción y productividad de una empresa éste representa un sistema idóneo para mantener mejoras en la eficiencia y calidad, optimizando así la competitividad de la empresa dentro de un contexto de excelencia gerencial y empresarial.

### **1.6.1. Objetivo del mantenimiento**

Definen que el mantenimiento industrial en una organización que tiene como propósitos fundamentales el cumplir con los siguientes objetivos como el disminuir los paros imprevistos del equipo, conservar la capacidad a la máxima eficiencia de trabajo de las máquinas, contribuir al aumento de la productividad,

garantizar la seguridad industrial, mejorar la calidad de los productos o servicios realizados, depreciación de costos y optimizar recursos.

Para llevar a cabo estos objetivos es necesario realizar algunas tareas específicas a través del departamento de mantenimiento, tales como: planificar las actividades para la aplicación del mantenimiento en los momentos más apropiados y así reducir costos por paros de producción, analizar si es conveniente el seguir dando mantenimiento a una máquina o buscar reemplazo, suministrar al personal de mantenimiento de herramientas adecuadas, instruir al personal sobre principios y normas de seguridad industrial, mantener actualizado el stock de repuestos y lubricantes.

De manera que, el objetivo del mantenimiento es poder maximizar el nivel de disponibilidad de producción con estándares de calidad, máximo nivel de seguridad para quien opere la máquina o equipo y con el menor impacto al medio ambiente, lo cual se debe lograr con el menor costo posible y a largo plazo.

Se expone que el objetivo del mantenimiento es garantizar que el parque industrial este con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el cliente o usuario. Con la máxima confiabilidad y fiabilidad, durante el tiempo solicitado para operar.

Con los parámetros requeridos, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente por el demandante, para producir bienes o servicios que satisfagan sus necesidades, deseos o requerimientos. Cumpliendo con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible. Y con los mayores índices de productividad y competitividad posibles para optimizar su rentabilidad. Es decir, para generar mayores ingresos.

### **1.6.2. Tipos de mantenimiento a utilizar en una propuesta de un plan de mantenimiento para los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía de 62 MW**

Cuando se tiene un equipo industrial, es necesario que este en óptimas condiciones, existen varios tipos de mantenimiento industrial. A continuación, se explicarán los 2 tipos de mantenimiento industrial que se utilizaron para la propuesta de un plan de mantenimiento utilizando análisis de vibraciones en un bloque de generación de energía de 62 MW.

#### **1.6.2.1. Mantenimiento preventivo**

Cajas y Janeta, exponen que el mantenimiento preventivo es una estrategia de programación de las intervenciones de mantenimiento que se deben realizar sobre una máquina. Estas intervenciones se realizan pensando en inspeccionar, reparar o reemplazar piezas, la gran ventaja que presenta es que al estar todas las actividades de mantenimiento adecuadamente programadas las paradas se realizarán con todas las facilidades y causando mínimos inconvenientes a la producción. Los costos de este tipo de mantenimiento dependen directamente de la precisión con la que se realicen las programaciones y la efectividad de estas.

La programación se basa en el estudio de las vidas útiles de cada elemento y del tiempo esperando para que ocurra su falla. Para la planificación, administración y control de estos programas de mantenimiento es común el uso de herramientas informáticas, como bases de datos o en industrias más grandes el uso de paquetes computacionales más específicos.

Así, el mantenimiento preventivo procura sacar el mayor beneficio de la vida útil de las piezas de una máquina disminuyendo las paradas imprevistas que afectan al proceso productivo.

#### **1.6.2.1.1. Ventajas del mantenimiento preventivo**

Este tipo de mantenimiento ayuda a maximizar la disponibilidad de la maquinaria, mayor seguridad para el operativo, mayor productividad, disminuye los tiempos muerto, por lo tanto, existen menos paros imprevistos, menos productos rechazados, menos desperdicios, aumenta la vida útil de los equipos, cumplimiento de la producción planeada, se conoce anticipadamente el presupuesto de costos de mantenimiento, mejor control y planeación del mantenimiento aplicado en los equipos, existe una mayor seguridad en la operatividad de los equipos debido a que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento, carga de trabajo es equitativa para el personal de mantenimiento ya se cuenta con una programación de actividades.

#### **1.6.2.1.2. Desventajas del mantenimiento preventivo**

El declive que se tiene en el desmontaje y sustitución innecesaria de piezas, los costos elevados ya que las inspecciones se realizan de manera periódica y se necesita que el operario tenga experiencia, representa alto costo en la inversión de inventarios, pero siendo previsible lo cual permite una mejor gestión, al tiempo que se montan las piezas y se realizan pruebas de funcionamiento puede afectar a la regularidad de la marcha.

### **1.6.2.2. Mantenimiento basado en condición (CBM)**

El Mantenimiento Predictivo basado en la Condición (CBM por sus siglas en inglés) es un tipo de gestión que plantea soluciones de reparación o reemplazo sobre la condición actual o futura de la maquinaria. Gracias a este tipo de mantenimiento podremos disponer de la mayor cantidad de datos objetivos sobre la maquinaria, pudiendo identificar los posibles errores o fallos de la máquina antes de que pasen y permitiendo anticiparnos a ellos. Esto es posible gracias a un análisis continuo y prolongado en el tiempo, que nos permite ver las variaciones o cambios drásticos en el funcionamiento de la máquina y que puede suponer un error futuro, o un punto de inflexión en el funcionamiento del sistema.

Una de las claves para realizar un correcto Mantenimiento Predictivo basado en la condición, es mantener una monitorización permanente que nos proporcione una información precisa y constante que empleamos como fuente para poder detectar potenciales anomalías y así poder realizar un estudio sobre cuándo es posible que la maquinaria pueda bajar rendimiento, e incluso detectar el momento en el que va a fallar. Toda la información que recibimos constantemente nos facilita una planificación mejorada que nos permite optimizar los procesos, elevando la eficiencia energética y minimizando los tiempos de parada, de una forma que, de no ser así, nos hubiese supuesto un trabajo y unos costes adicionales. El hecho de anticiparnos a cualquier cambio que puedan sufrir los equipos, hace que la planificación del trabajo de mantenimiento sea mucho más corta y precisa, reduciendo costes de repuestos, tiempos de parada y también gastos referidos al tiempo que necesitan los técnicos para reparar la máquina.

#### **1.6.2.2.1. Ventajas del mantenimiento basado en condición**

Crear una filosofía de mantenimiento basada en el Mantenimiento Predictivo basado en la Condición nos permite adquirir un ahorro mayor frente a las técnicas de mantenimiento preventivo tradicionales, ya que nos permite optimizar los tiempos y calcular cuando es realmente necesario parar las máquinas.

Las principales ventajas que nos proporciona este tipo de mantenimiento son:

- Mayor seguridad laboral en la planta industrial.
- Mayor vida útil del equipo.
- Reducción del número de accidentes.
- Reducción del tiempo de reparaciones.
- Menor impacto medioambiental.
- Nos permite optimizar mejor los recursos de los que disponemos.

#### **1.6.2.2.2. Desventajas del mantenimiento basado en condición**

- Alto coste de mantenimiento provocado por:
  - Elevada dedicación horas/hombre.
  - Elevada frecuencia de las tareas.
  - Mantenimiento del Fabricante, de carácter altamente conservador.
- Problemas de disponibilidad de los activos.
- Fallos repetitivos, por falta de análisis y predicción de estos.

- Desconocimiento de la Vida Útil y falta de Información sobre el estado de estos.

## **1.7. Gestión de mantenimiento**

La gestión de mantenimiento se puede definir como un conjunto de actividades para la determinación de los objetivos, estrategias y responsabilidades, éstos son para llevar a cabo a través de la planeación, control, supervisión y mejora en los métodos de la organización, incluyendo los aspectos económicos.

La gestión debe empezar teniendo en consideración factores como: calidad, confiabilidad, eficiencia, rapidez, rentabilidad seguridad que, a su vez, permita la medición del resultado, el análisis y la mejora continua para identificar las actividades equivocadas que se realizan bien.

Las herramientas de gestión y planeación de mantenimiento soportan sus modelos en las siguientes teorías de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo:** Se realiza cuando el equipo presenta falla. No existen actividades de planeación.
- **Mantenimiento preventivo:** Se tienen actividades de planeación enfocadas en afrontar y contraatacar fallas potenciales. Se realiza bajo frecuencias preestablecidas que se pueden basar en estadísticas, en los tiempos de operación, en recomendaciones del fabricante, entre otros.
- **Mantenimiento basado en la condición:** Se monitorean variables importantes con la falla de equipos. El reto es la determinación de

parámetros para monitorear. La frecuencia de monito es preestablecida; sin embargo, no es tan constante como una estrategia de mantenimiento de inspección.

La eficacia de esta estrategia está basada en el contexto operativo y los sistemas de gestión, se requiere considerar ambas y deben ser integradas adecuadamente.

### **1.8. Caldera acuotubular**

Son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza por tubos durante su calentamiento, este tipo de calderas son más utilizadas en las centrales termoeléctricas, ya que permiten altas presiones a su salida y tienen gran capacidad de generación.

Figura 5. **Caldera Isgec**



Fuente: ISGEC, *Caldera acuotubular*. <http://www.isgec.com/images/boiler-banner4.jpg>.

Consulta: el 17 de febrero de 2020.

### 1.8.1. Especificaciones de caldera Isgec

A continuación, se presentan especificaciones del equipo de generación de vapor.

Figura 6. Especificaciones, Caldera Isgec

| S.No. | Parameters                                  | Units                  | Guaranteed Parameters | Achieved Data |
|-------|---|------------------------|-----------------------|---------------|
| 1)    | Steam Flow at MCR                           | TPH                    | 220                   | 221.67        |
| 2)    | Steam Pressure at Super Heater Outlet       | Kg/cm <sup>2</sup> (a) | 109                   | 106.67        |
| 3)    | Steam Temperature at Super Heater Outlet    | Deg.C                  | 540±5                 | 541.44        |
| 4)    | Efficiency at 100% BMCR on NCV Basis        | %                      | 88.60                 | 92.73         |
| 5)    | Ambient Temperature                         | Deg.C                  | 35.00                 | 35.22         |
| 6)    | Feed Water Temperature at Economizer Outlet | Deg.C                  | 204.00                | 199.22        |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

### 1.9. Turbina de vapor

La turbina de vapor es una máquina térmica de combustión externa, giratoria que transforma la energía cinética del vapor en energía de rotación.

Una máquina térmica es la que realiza un trabajo mediante calor. En este caso el calor que se necesita para generar el vapor que la mueve. Convierte el calor del vapor generado en trabajo de rotación.

Una máquina térmica externa es la que realiza la combustión fuera de la propia máquina, es decir, la producción del vapor mediante calor se realiza fuera

de la turbina de vapor. La energía cinética es la energía que se produce con movimiento.

**Figura 7. Turbina de vapor**



Fuente: elaboración propia, Ingenio Magdalena.

### **1.9.1. Especificaciones turbina de vapor Siemens**

A continuación, presentamos especificaciones del equipo al que le aplicaremos el estudio.

Figura 8. Especificaciones, turbina de vapor Siemens

| SIEMENS                           |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
| Turbina:                          | O.S. 43052   | Presión Vapor de Admisión: 105,54 kgf/cm (g)               |
| Tipo:                             | SST-600  | Temperatura Vapor de Admisión: 538 °C                      |
| Año de la Fabricación:            | 2012   | Presión Vapor de Descarga: -0,931 kgf/cm <sup>2</sup> (g)  |
| Potencia:                         | 62.400 kW  | Presión Vapor de Extracción: 2,812 kgf/cm <sup>2</sup> (g) |
| (en los terminales del generador) |  | Presión Vapor de Toma A1: 0,023 kgf/cm <sup>2</sup> (g)    |
| Rotación:                         | 3.600 rpm  | Presión Vapor de Toma A2: 6,725 kgf/cm <sup>2</sup> (g)    |
| Rotación de Desarme:              | 3.960 rpm  | Presión Vapor de Toma A3: 11,05 kgf/cm <sup>2</sup> (g)    |
| Sentido de Rotación:              | Anti-horario visto de la turbina para la máquina accionada | Presión Vapor de Toma A4: 18,43 kgf/cm <sup>2</sup> (g)    |
|                                   |  | 1ª Rotación crítica (Horizontal): 1190 rpm                 |
|                                   |  | 2ª Rotación crítica (Vertical): 2090 rpm                   |
| Hecho in Brazil                   |  |  |

Fuente: elaboración propia, Ingenio Magdalena.

### 1.10. Vibraciones mecánicas

Se denomina vibración a la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo (o posición de equilibrio).

En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como un movimiento repetitivo alrededor de una posición de equilibrio. La posición de "equilibrio" es a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Este tipo de movimiento no involucra necesariamente deformaciones internas del cuerpo entero, a diferencia de una vibración.

### **1.10.1. Causas de vibraciones mecánicas**

- Desequilibrio de elementos rotativos.
- Desalineación en acoplamientos.
- Engranajes desgastados o dañados.
- Rodamientos deteriorados.
- Fuerzas aerodinámicas o hidráulicas.
- Problemas eléctricos.

### **1.11. Sistema de análisis de vibraciones**

Un sistema típico de análisis de vibraciones está compuesto por:

- Un recolector de señales (transductor)
  - Un analizador de señales
  - Un software para análisis
  - Una computadora para ejecutar el análisis, almacenamiento y creación de tendencias.

Menciona Acevedo que “Para obtener mediciones óptimas y lo más uniforme posible, es necesario estandarizar puntos de medición. En general, las medidas deben ser tomadas siempre, en los mismos puntos siguiendo la dirección de los tres ejes del plano cartesiano, en relación con la máquina principal”.<sup>1</sup>

Entonces, un análisis de vibraciones debe ser realizado por alguien con entrenamiento y experiencia, que domine la teoría y el uso del equipo necesario.

---

<sup>1</sup> ACEVEDO, Adriana. M. *Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo* p. 30.

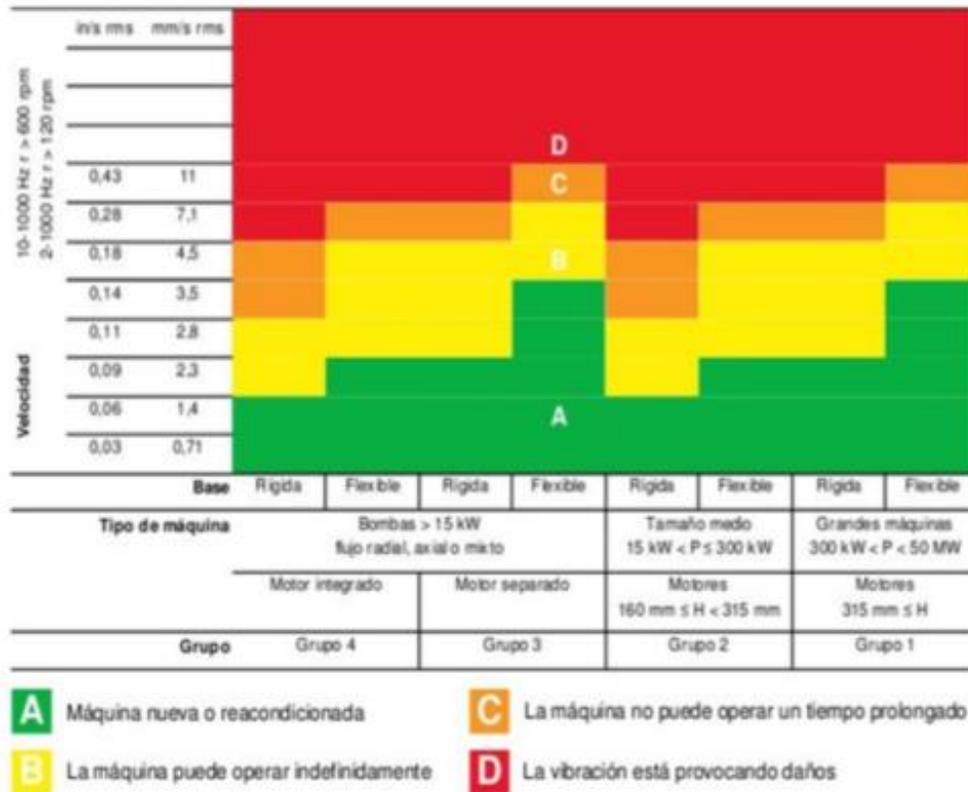
Figura 9. **Niveles de vibración referencial de alarma**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>NIVEL DE EMERGENCIA</b>  | Valor referencial de vibración peligrosa, indica que el equipo dinámico se encuentra operando en forma Inaceptable, podría ocasionar daños tanto al equipo como al personal operativo, por lo cual es recomendable ponerlo fuera de operación y proceder con la corrección de las fallas diagnosticadas. |
| <b>NIVEL DE PRECAUCIÓN</b>  | Valor referencial de operación continua no recomendada, que indica que el equipo dinámico se encuentra con limitaciones en su operación, por lo cual debe ser considerado dentro de los planes del próximo Mantenimiento Preventivo.   |
| <b>NIVEL DE OBSERVACION</b> | Valor referencial de operación continua sin restricciones, que indica que el equipo dinámico se encuentra en condición de funcionamiento aceptable bajo observación programada.  |
| <b>NIVEL NORMAL</b>         | Valor referencial de operación puesta en marcha, que indica que el equipo dinámico se encuentra en condiciones normales de operación y no necesita intervención.   |

Fuente: Vibraciones mecánicas. *Evaluación de la vibración de la máquina*. <https://power-mi.com/es/de-alarma-de-vibraci%C3%B3n-de-una-m%C3%A1quina-y-no-es-con-tablas-iso>.

Consulta: 14 de febrero de 2021.

Figura 10. **Criterio de severidad para vibraciones mecánicas**



Fuente: Vibraciones mecánicas. *Criterio de severidad para vibraciones mecánicas.*

<https://power-mi.com/es/de-alarma-de-vibraci%C3%B3n-de-una-m%C3%A1quina-y-no-es-contablas-iso>. Consulta: 14 de febrero de 2021.

### 1.12. **Parámetros de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman una caldera acuotubular Isgec**

A continuación, se presentan los rangos de vibraciones mecánicas aceptables, rangos de vibraciones mecánicas de alarma y rangos de vibraciones mecánicas críticas, estos son únicamente para la caldera Isgec que se le realizó el estudio.

Figura 11. **Valores aceptables de vibración, caldera Isgec**

| Tabla de valores aceptables de vibración |               |                 |                                |                            |                            |
|--|---------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Descripción del equipo                   | Potencia (HP) | Velocidad (RPM) | Rangos Aceptables de Vibración | Rangos Alarma de Vibración | Rango Crítico de Vibración |
| Ventilador Inducido 1                    | 560           | 893             | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |
| Ventilador Inducido 2                    | 560           | 893             | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |
| Ventilador forzado primario 1            | 177           | 1184            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Ventilador forzado primario 2            | 177           | 1184            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Ventilador forzado secundario 1          | 301           | 1786            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Ventilador forzado secundario 2          | 301           | 1786            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba alimentación agua 1                | 1140          | 3568            | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |
| Bomba alimentación agua 2                | 1140          | 3568            | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |
| Bomba alimentación agua 3                | 1140          | 3568            | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

### 1.13. **Parámetros de vibraciones mecánicas en los equipos rotativos que conforman una turbina de vapor Siemens**

A continuación, se presentan los rangos de vibraciones mecánicas aceptables, rangos de vibraciones mecánicas de alarma y rangos de vibraciones mecánicas críticas, estos son únicamente para la turbina de vapor Siemens que se le realizó el estudio.

Figura 12. **Valores aceptables de vibración, turbina de vapor Siemens**

| Tabla de valores aceptables de vibración |               |                 |                                |                            |                            |
|--|---------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Descripción del equipo                   | Potencia (HP) | Velocidad (RPM) | Rangos Aceptables de Vibración | Rangos Alarma de Vibración | Rango Crítico de Vibración |
| Bomba de lubricación de aceite AC        | 40            | 1750            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de lubricación de aceite DC        | 40            | 1475            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de condensado 1                    | 150           | 1785            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de condensado 2                    | 150           | 1785            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de enfriamiento de aceite 1        | 50            | 1775            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de enfriamiento de aceite 2        | 50            | 1775            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de vacío 1                         | 40            | 1170            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de vacío 2                         | 40            | 1170            | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de circulación 1                   | 725           | 710             | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Bomba de circulación 2                   | 725           | 710             | 0-2.8                          | 2.8-4.5                    | 4.5                        |
| Ventiladores de torres de enfriamiento 1 | 150           | 1770            | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |
| Ventiladores de torres de enfriamiento 2 | 150           | 1770            | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |
| Ventiladores de torres de enfriamiento 3 | 150           | 1770            | 0-4.5                          | 4.5-7.1                    | 7.1                        |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.



## **2. FASE TECNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones**

En la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo es necesario establecer 3 ejes fundamentales, los cuales se presentan a continuación:

- Fortalecimiento del área de mantenimiento
- Metodología del mantenimiento preventivo
- Mantenimiento preventivo para cada equipo

#### **2.1.1. Fortalecimiento del área de mantenimiento**

Para poder crear un excelente y eficaz plan de trabajo, se realizó una planificación de todos los aspectos que se deben mejorar, así como las metodologías a implementar para que un proyecto contemplado tenga éxito.

El mantenimiento es difícil si no se tiene claro el fin de lo que se desea lograr dentro del contexto global, el objetivo de la empresa, por lo cual el área de mantenimiento debe estar estrechamente relacionada con otras áreas, se refiere a tener una buena comunicación con otros departamentos, esto debido a que juegan un papel de suma importancia, como: compras, contabilidad, ventas, entre otros.

### **2.1.1.1. Planeación estratégica del departamento de mantenimiento**

La planeación estratégica no es más que una herramienta administrativa que nos ayuda a orientar y encaminar los objetivos y metas, en el caso del departamento de mantenimiento, es necesario involucrar a todos los entes que participan en el mismo, para que se sientan comprometidos en la ejecución de esta planeación.

### **2.1.1.2. Tácticas y estrategias**

Es necesario contar con tácticas y estrategias que nos ayuden a solventar los distintos problemas que acontecen día a día. Estas nos guiarán para lograr cada uno de nuestros objetivos de una forma ordenada y efectiva.

#### **2.1.1.2.1. Análisis de Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA)**

- Fortalezas
  - Apoyo de gerencia
  - Optimización de recursos
  - Deseo de mejora continua
  - Personal de experiencia y conocimiento
  
- Oportunidades
  - Capacitación
  - Nuevas metodologías
  - Control de mantenimiento más estricto

- *Empowerment*
- Debilidades
  - Planificación muy pobre
  - Insuficiente control de mantenimiento
  - Falta de coordinación
  - Insuficiente personal
  - Falta de repuestos en stock
- Amenazas
  - Insuficiente presupuesto
  - Negligencia de otros departamentos
  - Negligencia para reporte de fallas
  - Negligencia para manejo de equipos

### **2.1.1.3. Estrategias**

Es de suma importancia contar con estrategias fundamentales para que nos ayuden a mejorar y resolver problemas de una forma ordenada que ocurren día tras día para sí poder cumplir con los objetivos del área de mantenimiento a corto, mediano y largo plazo.

#### **2.1.1.3.1. Matriz FODA**

Es una consecuencia de análisis FODA, que consiste en poder plantear estrategias de una manera proactiva, con la finalidad de agrupar los aspectos internos con externos y lograr un aprovechamiento competitivo.

Para la realización de la matriz, es necesario poder enlazar las oportunidades con fortalezas, amenazas con fortalezas, oportunidades con

debilidades, amenazas con debilidades para así poder tomar acciones para alcanzar los objetivos exitosamente, dentro de un marco planificado. En la siguiente página se hace una referencia a la construcción de la matriz DOFA aplicada al área de mantenimiento en la planta.

Tabla I. **Matriz DOFA**

|   | <b>FORTALEZAS</b>   | <b>DEBILIDADES</b>   |
|---|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo de gerencia</li> <li>• Optimización de recursos</li> <li>• Deseo de mejora continua</li> <li>• Personal de experiencia y conocimiento</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación muy pobre</li> <li>• Insuficiente control de mantenimiento</li> <li>• Falta de coordinación</li> <li>• Insuficiente personal</li> <li>• Falta de repuestos en stock</li> </ul>  |
| <b>OPORTUNIDADES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitación</li> <li>• Nuevas metodologías</li> <li>• Control de mantenimiento más estricto</li> <li>• <i>Empowerment</i></li> </ul>                             | Se puede implementar un plan de capacitación orientado a la mejora del conocimiento del personal operativo acompañado de nuevas metodologías donde se incluya el empoderamiento del mismo para que esta persona sienta que su trabajo y conocimiento es valorado. | Con las nuevas metodologías se pueden crear nuevos planes para elaborar lineamientos para tener una excelente planificación y crear planes de registro y control apoyando con el empoderamiento del personal operativo.  |
| <b>AMENAZAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca colaboración de otros departamentos</li> <li>• Desconocimiento para manejo adecuado de equipos y reporte de fallas</li> <li>• Insuficiente presupuesto</li> </ul> | Con el deseo de mejora se puede exponer con las demás áreas que conforman Imsa los planes y mejoras para que estos puedan involucrarse y tener conocimiento de estas.   | Se debe contar con una adecuada planificación, tomando en cuenta el registro y control para que se mantenga la confiabilidad y necesidad. Llevar una excelente coordinación y comunicación con las demás áreas se verán comprometidos para que colaboren y mejorar cada una de sus unidades, dentro de la planificación se motivará al personal operativo para ejecutar las actividades de manera positiva y segura. |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

#### **2.1.1.3.2. Capacitación**

Todo el personal operativo que conforma el área de cogeneración de IMSA debe ser debidamente capacitado para realizar y poner en prácticas las nuevas metodologías de gestión que tiene consecuencia un mejor mantenimiento con un enfoque económico. Además, motiva al personal operativo aplicar los conocimientos adquiridos. Al finalizar dicha capacitación se debe tener un control para evaluar el desempeño y los conocimientos adquiridos del capacitado.

#### **2.1.1.3.3. Empowerment**

Para que el proceso del mantenimiento sea efectivo, es necesario delegar para que tanto el operario pueda tomar decisiones basadas en su experiencia y conocimiento laboral, lo cual evitara que se tenga que informar y recibir la orden de ejecutar lo que provocaría un retraso en la operación. Se debe destacar que la persona para delegar una autoridad es necesario que este en un proceso por lo cual se le debe capacitar para realizar el trabajo, que es capaz de tener conocimientos no solo prácticos si no teóricos y tecnológicos.

#### **2.1.2. Metodología del mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones**

Junto con la mejora al área de mantenimiento, es necesario establecer métodos adecuados para la gestión de mantenimiento preventivo, establecimiento de los formatos, hojas de paros, ordenes de mantenimiento. Esto debido a que, con normas de la empresa, cada actividad realizada en el área de mantenimiento debe ser registrada para poder llevar un control preciso y manejo de la información, con esto tener una excelente planificación en los paros de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones.

### **2.1.2.1. Hojas de paros**

Mediante el reporte de los fallos presentados a lo largo de la jornada de producción de energía eléctrica, que consta de 24 horas productivas, lo que se busca es lograr la recopilación de información útil para generar un historial de daños en la maquinaria, con el fin de poder analizar y planificar un mantenimiento preventivo a los equipos rotativos que conforman el bloque de generación de energía basado en las necesidades que la empresa exige.

Existen 2 tipos de paros: paros programados y paros no programados. De alguna manera estos son tiempos muertos en producción de energía.

Los paros programados son aquellos tiempos muertos de producción que han sido analizados y planificados, y no son de manera inesperada.

Los paros no programados son aquellos tiempos muertos que no se tienen programados y son de manera inesperada como por ejemplo problemas en los equipos o en la operación.

En este caso las hojas de fallo son conocidas como reporte de paros no programados (RPNP), los cuales son cargados a una plataforma virtual (SAP) para luego tener un historial por día y producto, estos reportes de paros no programados se encuentran a la mano de los ingenieros de área, supervisores y personal operativo, teniendo la participación de todo el personal para tener un mejor control y manejo de la información.

En los RPNP la información a recopilar es el tiempo en que se demoró la falla, el número de fallo, hora en que inicia y finaliza el paro. En este documento

se coloca descripción de la causa que ocasiono el paro no programado, acciones realizadas en el paro no programado, notas importantes y la fecha.

Figura 13. Formato de hoja de paro “Caldera Isgec”

Ingenio Magdalena S.A.  
Área de cogeneración \* Hoja de paro, mantenimiento mecánico \*

 Fecha: \_\_\_\_\_  
Jefe de mantenimiento mecánico: \_\_\_\_\_ código: \_\_\_\_\_  
Jefe de turno: \_\_\_\_\_ código: \_\_\_\_\_  
Técnico mecánico: \_\_\_\_\_ código: \_\_\_\_\_  
Turno en el que se realizó el paro: 6:00 - 14:00 14:00 - 22:00 22:00 - 6:00  
Tipo de mantenimiento: Correctivo / Preventivo / Otro: \_\_\_\_\_

Prioridad: \_\_\_\_\_  
Hora de paro (Prog): \_\_\_\_\_ Hora de arranque (Prog): \_\_\_\_\_  
Ubicación: \_\_\_\_\_

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Descripción de la causa del paro: |  |
|                                   |  |
|                                   |  |

|                      |  |
|----------------------|--|
| Acciones a realizar: |  |
|                      |  |
|                      |  |

|                    |  |
|--------------------|--|
| Notas importantes: |  |
|                    |  |
|                    |  |

Firma jefe de mantenimiento mecánico: \_\_\_\_\_ Firma técnico mecánico: \_\_\_\_\_  
Firma jefe de turno: \_\_\_\_\_ No. Boleta: \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Figura 14. Formato de hoja de paro “Turbina de vapor Siemens”

Ingenio Magdalena S.A.  
Área de cogeneración "Hoja de paro, mantenimiento mecánico"


 Fecha: \_\_\_\_\_  
 Jefe de mantenimiento mecánico: \_\_\_\_\_ código: \_\_\_\_\_  
 Jefe de turno: \_\_\_\_\_ código: \_\_\_\_\_  
 Técnico mecánico: \_\_\_\_\_ código: \_\_\_\_\_  
 Turno en el que se realizó el paro: 6:00 - 14:00 14:00 - 22:00 22:00 - 6:00  
 Tipo de mantenimiento: Correctivo / Preventivo / Otro: \_\_\_\_\_

Prioridad: \_\_\_\_\_  
 Hora de paro (Prog): \_\_\_\_\_ Hora de arranque (Prog): \_\_\_\_\_  
 Ubicación: \_\_\_\_\_

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Descripción de la causa del paro: |  |
|                                   |  |
|                                   |  |

|                      |  |
|----------------------|--|
| Acciones a realizar: |  |
|                      |  |
|                      |  |

|                    |  |
|--------------------|--|
| Notas importantes: |  |
|                    |  |
|                    |  |

Firma jefe de mantenimiento mecánico: \_\_\_\_\_ Firma técnico mecánico: \_\_\_\_\_  
 Firma jefe de turno: \_\_\_\_\_ No. Boleta: \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016

### 2.1.2.2. Check list

Un *check list* es un documento muy importante porque nos permitirá identificar anomalías en cualquier componente o equipo en el que se le pueda realizar una inspección sin necesidad de parar la producción y permite que se realice por cualquier personal operativo, principiante o experimentado, por la simplicidad con la cual se debe de desarrollar.

El seguimiento, la disponibilidad y la actualización del *check list* son importante para el área de mantenimiento, ya que no permitirá obtener información de suma importancia y nos permitirá analizarla para la toma de una decisión. También nos permite mejorar la comunicación entre personal y departamentos, garantizar la seguridad del personal operativo y de las distintas

áreas implicadas, obtener un registro escrito en caso de problema, optimizar las prácticas de mantenimiento mediante el seguimiento continuo, mantener una certificación, cumplir con las normas del fabricante, entre otros.

Figura 15. Formato de hoja de *check list* “Caldera Isgec”

Ingenio Magdalena S.A.  
 Área de cogeneración "Check list, mantenimiento mecánico"  
 Bloque 6, caldera Isgec; bombas de alimentación de agua (2), ventilador aire inducido (2), ventilador aire forzado primario (2) y ventilador aire forzado secundario (2)

Turno: \_\_\_\_\_  
 Jefe de turno: \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_  
 Técnico mecánico: \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**Bombas de alimentación de agua KSB**

|                                 | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |    |
|---------------------------------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|----|
| 1. Nivel de lubricante correcto | Si    | No     | Si        | No     | Si      | No     | Si      | No |
| Marcar con una x                |       |        |           |        |         |        |         |    |
| * Bomba de alimentación KSB #1  |       |        |           |        |         |        |         |    |
| * Bomba de alimentación KSB #2  |       |        |           |        |         |        |         |    |
| * Bomba de alimentación KSB #3  |       |        |           |        |         |        |         |    |

Número de bomba(s) de alimentación de agua que necesitan lubricante (anotar): \_\_\_\_\_

**2. Parámetros de vibraciones correcto**

|                                       | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |    |
|---------------------------------------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|----|
| 1. Parámetros de vibraciones correcto | Si    | No     | Si        | No     | Si      | No     | Si      | No |
| Marcar con una x (B1/B2/B3)           |       |        |           |        |         |        |         |    |
| * Chumacera lado libre                | /     | /      | /         | /      | /       | /      | /       | /  |
| * Chumacera lado acople               | /     | /      | /         | /      | /       | /      | /       | /  |

*Si algún parámetro de vibración en chumacera lado libre o lado acople no se encuentra en parámetros ideales debe informar a su jefe inmediato*

**3. Esta enviando caudal ideal de agua de acuerdo a los parámetros que solicita el domo**

|  | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |    |
|--|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|----|
| 3. Esta enviando caudal ideal de agua de acuerdo a los parámetros que solicita el domo | Si    | No     | Si        | No     | Si      | No     | Si      | No |
| Marcar con una x (B1/B2/B3)  |       |        |           |        |         |        |         |    |
|  | /     | /      | /         | /      | /       | /      | /       | /  |

*Si el caudal no es el ideal para el domo informar de inmediato al jefe inmediato*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Figura 16. Formato de hoja de *check list* “Turbina de vapor Siemens”

Ingenio Magdalena S.A.  
 Área de cogeneración "Check list, mantenimiento mecánico"  
 Bloque 6, turbina de vapor Siemens; bombas de lubricación de aceite (Aux y Dc), bombas de condensado, bombas de enfriamiento de aceite, bombas de vacío, bombas de circulación de aceite de torres de enfriamiento y ventiladores de torres de enfriamiento

Turno: \_\_\_\_\_  
 Jefe de turno: \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_  
 Técnico mecánico: \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**Bombas de lubricación de aceite (Aux y Dc)**

**Bomba de lubricación de aceite "Ac"**

|   | Lunes | Martes | Mier | Jueves | Viernes | Sábado | Domín |    |
|---|-------|--------|------|--------|---------|--------|-------|----|
| 1. Guarda seguridad en buen estado                | Si    | No     | Si   | No     | Si      | No     | Si    | No |
| Marcar con una x                                  |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 2. Parámetro de vibración ideal en motor          |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 3. Parámetro de vibración ideal en bomba          |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 4. Temperatura ideal en cojinetes                 |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 5. Existen fugas de aceite                        |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 6. Confirmación de marcha a trabajando idealmente |       |        |      |        |         |        |       |    |

**Bomba de lubricación de aceite "Dc"**

|   | Lunes | Martes | Mier | Jueves | Viernes | Sábado | Domín |    |
|---|-------|--------|------|--------|---------|--------|-------|----|
| 1. Guarda seguridad en buen estado                | Si    | No     | Si   | No     | Si      | No     | Si    | No |
| Marcar con una x                                  |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 2. Parámetro de vibración ideal en motor          |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 3. Parámetro de vibración ideal en bomba          |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 4. Temperatura ideal en cojinetes                 |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 5. Existen fugas de aceite                        |       |        |      |        |         |        |       |    |
| 6. Confirmación de marcha a trabajando idealmente |       |        |      |        |         |        |       |    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

### **2.1.2.3. Orden de mantenimiento**

Para poder crear una orden trabajo de mantenimiento se realiza mediante el sistema SAP, módulo PM, estas se crean como medidas de mantenimiento para restaurar algún equipo, orden de mantenimiento correctivo, o bien es posible que se generen por medio a partir de un plan de mantenimiento preventivo cargado a la plataforma, si en caso no se tiene ese plan en ella también es posible crear ordenes de mantenimiento preventivo.

El sistema proporciona una serie de funciones para planificar, gestionar y liquidar una orden. Las funciones disponibles en una orden para planificar son:

- Describir con detalles lo que se trabajara en el equipo.
- Especificar los centros de trabajo donde se realizarán las acciones.
- Describir las operaciones individuales, el tiempo de ejecución planificado y número de personas que se intervendrán.
- Materiales para utilizar en el equipo que se le aplicara el trabajo descrito.
- Especificar las normas de liquidación.
- Incluir hojas de rutas en las órdenes para ayudar a preparar las acciones de mantenimiento.

Las funciones disponibles para ejecutar y supervisar una orden de mantenimiento son:

- Imprimir la orden de trabajo para los diferentes puestos de trabajo responsables de las acciones.
- Efectuar reserva de materiales planificados y no planificados desde el almacén de la orden.
- Notificar el avance del trabajo.

Los costos resultantes de una orden de trabajo de mantenimiento pueden liquidarse mediante diferentes elementos recolectores de costos, los cuales son:

- Contra un centro de coste
- Contra otra orden
- Contra un proyecto
- Contra un activo fijo

Figura 17. Formato de orden de mantenimiento

5 de agosto de 2020 - 11:21:55 AM Copia 2 1 de 2

INGENIO MAGDALENA, S.A. - MSA O.T. No 130368667  
 C09 Alimentación de bagazo  
 Mto. Mec. Cog.

**Equipo:** - **Actividad:** -

**U.T.:** Sistema de Alimentación de Bagazo C09 **Cd./Planta:** 1001 - MSA-Cogeneración **Cd./Pln.:** 1000 - MSA-Fábrica Azúcar/Refinería

**Prioridad:** Alta **Fecha y Hora Inicio (Prog.):** 03.08.2020 07:00:00 AM  
**Parte/Problema:** / **Fecha y Hora Fin (Prog.):** 03.08.2020 07:00:00 AM  
**Centro de Costo:** 1020204001 - Caldera 9 **Fecha y Hora Inicio (Falla):** -  
**Estatus:** APROBADO **Fecha y Hora Fin (Falla):** -  
**Tiempo Estimado:** 0.0 Hora(s) **Aplica Indag.:**   
**Frecuencia:** 1.00 **Valor Medición (Reporte):** -  
**Ord. Anterior/Plan Mto:** NO APLICABLE/100000002 **Valor Medición (Acta):** -  
**Teléfono:** -  
**Dirección:** -

**Descripción de la Falla/Trabajo:** C09 Alimentación de bagazo

| Equipo | Utilización | Avance |
|--------|-------------|--------|
|        |             |        |
|        |             |        |

| Cp.  | Pto. Trabajo | Descripción Operación             | Tiempo | Fecha | Trabajador No. | Nombre Trabajador |
|------|--------------|-----------------------------------|--------|-------|----------------|-------------------|
| 0010 | SUPO.MEC     | PS01 - C09 Alimentación de bagazo |        |       |                |                   |
|      |              |                                   |        |       |                |                   |

| Parte No. | Nombre de la parte                | Ctd. P.   | Ctd. R. | Parte No. | Nombre de la parte                | Ctd. P.   | Ctd. R. |
|-----------|-----------------------------------|-----------|---------|-----------|-----------------------------------|-----------|---------|
| 1000171   | PINTURA ANTICORROSIONA AZUL       | 1,000 GLN |         | 1000144   | PINTURA ANTICORROSIONA NARANJA 2  | 1,000 GLN |         |
| 1000345   | SOLVENTE MINERAL                  | 5,000 GLN |         | 1000342   | WPE DIALGODON                     | 4,000 LB  |         |
| 1000407   | MARCADOR PIMETAL COLOR BLANCO     | 1,000 UN  |         | 1000904   | THINER LACA                       | 5,000 GLN |         |
| 1400023   | GRASA ALVANA E. P. 2 GADUS 53 V 2 | 15,000 LB |         | 1000273   | LIMPIADOR Y DESENGRASANTE INDIU   | 5,000 GLN |         |
| 1000090   | SILICONE 908 ROJO POLVO PERMATE   | 2,500 UN  |         | 1000749   | LJA DARGUP 800 36                 | 3,000 UN  |         |
| 1007143   | OLIVANERA COMPLETA P.E.E. 40mm    | 2,500 UN  |         | 1000749   | LJA DESMATE 40#                   | 3,000 UN  |         |
| 1000171   | PINTURA ANTICORROSIONA AZUL       | 1,000 GLN |         | 1000737   | PINTURA ALQUILADO GRIS RAL 7004   | 1,000 GLN |         |
| 1000273   | LIMPIADOR Y DESENGRASANTE INDIU   | 1,000 GLN |         | 1400130   | PENETRANTE AFLOJALOTADO 20 ONZ    | 2,000 UN  |         |
| 1000407   | MARCADOR PIMETAL COLOR BLANCO     | 2,000 UN  |         | 1000342   | WPE DIALGODON                     | 2,000 LB  |         |
| 1000789   | PINTURA SPRAY ROJO                | 2,000 UN  |         | 1400023   | GRASA ALVANA E. P. 2 GADUS 53 V 2 | 5,000 LB  |         |
| 1000151   | PAÑO MICROFIBRA MULTUSOS AZUL     | 2,000 UN  |         |           |                                   |           |         |

| Proveedor de servicios | Ctd. | Proveedor | Importancia |
|------------------------|------|-----------|-------------|
|                        |      |           |             |
|                        |      |           |             |

| Herramienta | Ctd. Plan. | Ctd. Real |
|-------------|------------|-----------|
|             |            |           |
|             |            |           |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

#### **2.1.2.4. Programación de paradas de mantenimiento**

Este formato es un consolidado de las actividades de mantenimiento planificadas para una parada programada de mantenimiento, en donde se consideran horas de paro, tareas preventivas, correctivas y apoyos a otras áreas de parte del departamento mecánico. Las horas de paro por mantenimiento dependen del volumen de producción, debido a que esta se establece de forma mensual.

Las actividades a realizarse en un paro por mantenimiento son las preventivas ya estipuladas en plan como las acciones correctivas que han surgido mediante las inspecciones de rutina y los *check list*, se realiza la valoración del tiempo, las condiciones de seguridad, esto si la tarea a realizar no necesita permiso de trabajo donde se realiza la evaluación desde el enfoque de seguridad industrial donde se desglosan las actividades y se establecen los peligros para controlar los riesgos y para así no exponer la seguridad del personal operativo.

Este formato cuenta con el nombre de la actividad que se realizó, el departamento que lo realizó, el área, el colaborador, numero de turno, el número de orden de mantenimiento, duración de la actividad, fecha que se tiene previsto realizar dicha actividad, tiempo de mantenimiento, cumplimiento de la actividad y también cuenta con una casilla de seguridad industrial en la cual se evalúa si es necesario que la tarea tenga permisos de trabajo o un análisis preliminar de riesgos.

Figura 18. **Formato de hoja de programación de paradas de mantenimiento**

|  |  |  |               |
|--|--|--|---------------|
|  |  | Ingenio Magdalena S.A.<br>Área de cogeneración "Hoja de programación de paradas, mantenimiento mecánico" |               |
|  |  | Fecha: _____   |               |
| Jefe de mantenimiento mecánico: _____                        |  | código: _____  |               |
| Jefe de turno: _____   |  | código: _____  |               |
| Técnico mecánico: _____                                      |  | código: _____  |               |
| Tumo en el que se realiza programación de parada: _____      |  | 6:00 - 14:00   | 14:00 - 22:00 |
| Tumo en el que se realiza programación de parada: _____      |  | 22:00 - 6:00   |               |
| Tipo de mantenimiento: Correctivo / Preventivo / Otro: _____ |  |  |               |
| Actividad que se realizará: _____                            |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| Apoyo departamento mecánico                                  |  | Si   | No            |
| Breve descripción de reparación mecánica: _____              |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| Apoyo departamento eléctrico                                 |  | Si   | No            |
| Breve descripción de reparación eléctrica: _____             |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| Apoyo departamento electrónico                               |  | Si   | No            |
| Breve descripción de reparación electrónica: _____           |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| _____  |  |  |               |
| Firma jefe de turno, Mecánico: _____                         |  | Firma técnico mecánico: _____  |               |
| Firma jefe de turno: _____                                   |  | No. De boleta: _____   |               |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel Plus 2016.

### 2.1.2.5. **Stock de repuestos**

El mantener repuestos es importante para hacer eficiente el mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones porque de esta manera se podrán disminuir los costos por tiempo muertos en los equipos.

Sin embargo, se resalta que un alto nivel de inventario puede aumentar considerablemente los costos debido a que es un capital inmóvil y se requiere de una alta inversión, aunque con nuestra propuesta de mantenimiento utilizando análisis de vibraciones podemos ir verificando que repuestos nos darán fallo a corto plazo, mediano y largo plazo para ir solicitándolos con el distribuidor.

### **2.1.3. Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones**

Establecida la mejora en el área de mantenimiento y la metodología del mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones, se estableció el plan de mantenimiento preventivo para los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía de 62 MW.

Este consiste en la planificación de actividades como la inspección día a día, con el objetivo de minimizar tiempos muertos y maximizar la generación de energía, disminuir costos de operación, cumplimiento en el indicador de paros de forma que el análisis de vibraciones lo vaya indicando, el cumplimiento del programa de mantenimiento.

Para llevar a cabo cada una de las actividades es necesario tener rutinas de mantenimiento que deberán retroalimentarse a medida que transcurra el tiempo para ajustarse a la realidad con el objetivo de mejorar de manera continua en las prácticas del mantenimiento.

Este programa de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se lo aplicaremos a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec que pertenece al bloque 6 de IMSA, los cuales son:

- 3 bombas de alimentación de agua
- 2 ventiladores inducidos
- 2 ventiladores primarios
- 2 ventiladores secundarios

También se lo aplicaremos a los equipos rotativos que conforman la turbina de vapor Siemens que pertenece al bloque 6 de IMSA, los cuales son:

- 2 bombas de lubricación
- 2 bombas de circulación
- 2 bombas de condensado
- 2 bombas de enfriamiento
- 2 bombas de vacío
- 3 ventiladores de torres de enfriamiento

#### **2.1.3.1. Análisis de mantenimiento preventivo utilizando vibraciones como método de monitoreo por condición para los equipos rotativos que conforman una caldera Isgec**

Se presentan los valores de vibración de cada uno de los equipos rotativos que conforman una caldera Isgec que pertenece al bloque 6 de generación de energía.

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico donde se realizó su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 1 140 HP, velocidad de 3 568 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 4,5 rango de vibración con alarma de 4,5 – 7,1 y un rango crítico de vibración de 7,1 o mayor.

Se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en la bomba de alimentación de agua 1.

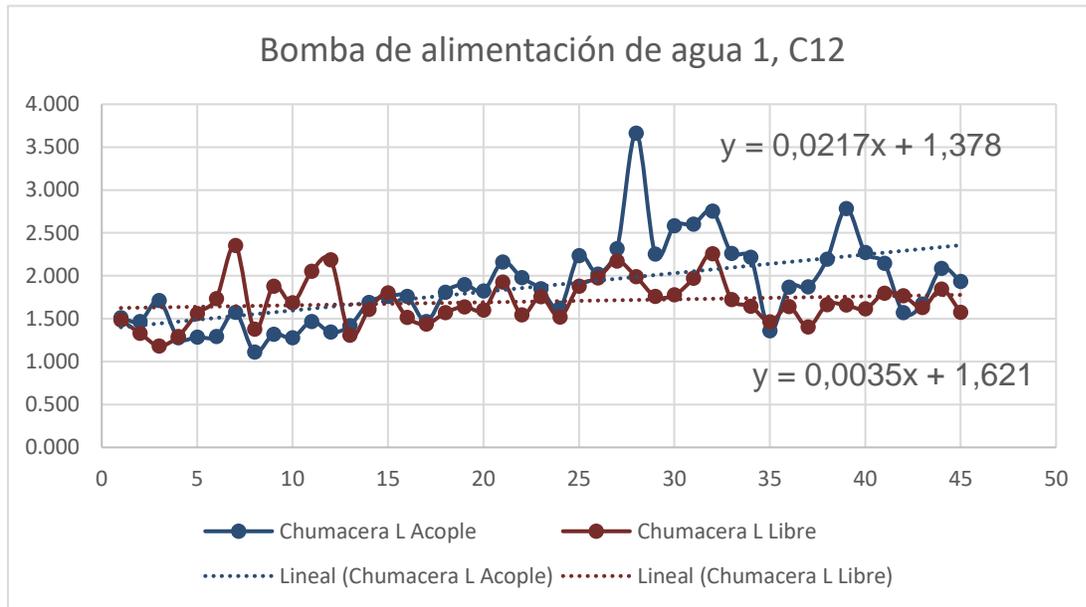
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla II. **Valores de vibración bomba alimentación de agua 1, C12**

| Valores de vibración bomba alimentación agua 1, C12 |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| Vibración global RMS                                |                    |                   |
| Semana  | Chumacera L Acople | Chumacera L Libre |
| 1   | 1,513              | 1,486             |
| 2   | 1,467              | 1,331             |
| 3   | 1,713              | 1,183             |
| 4   | 1,278              | 1,294             |
| 5   | 1,287              | 1,558             |
| 6   | 1,294              | 1,735             |
| 7   | 1,575              | 2,353             |
| 8   | 1,110              | 1,378             |
| 9   | 1,317              | 1,879             |
| 10  | 1,279              | 1,686             |
| 11  | 1,468              | 2,051             |
| 12  | 1,343              | 2,186             |
| 13  | 1,418              | 1,307             |
| 14  | 1,690              | 1,607             |
| 15  | 1,758              | 1,800             |
| 16  | 1,758              | 1,516             |
| 17  | 1,466              | 1,436             |
| 18  | 1,809              | 1,571             |
| 19  | 1,897              | 1,639             |
| 20  | 1,823              | 1,599             |
| 21  | 2,161              | 1,927             |
| 22  | 1,979              | 1,546             |
| 23  | 1,848              | 1,755             |
| 24  | 1,622              | 1,520             |
| 25  | 2,234              | 1,880             |
| 26  | 2,021              | 1,976             |
| 27  | 2,315              | 2,170             |
| 28  | 3,664              | 1,990             |
| 29  | 2,255              | 1,760             |
| 30  | 2,584              | 1,777             |
| 31  | 2,603              | 1,971             |
| 32  | 2,753              | 2,255             |
| 33  | 2,261              | 1,724             |
| 34  | 2,215              | 1,647             |
| 35  | 1,359              | 1,465             |
| 36  | 1,868              | 1,641             |
| 37  | 1,871              | 1,405             |
| 38  | 2,194              | 1,665             |
| 39  | 2,783              | 1,658             |
| 40  | 2,270              | 1,614             |
| 41  | 2,146              | 1,798             |
| 42  | 1,571              | 1,767             |
| 43  | 1,670              | 1,630             |
| 44  | 2,087              | 1,845             |
| 45  | 1,935              | 1,575             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 19. **Comportamiento de vibraciones en bomba de alimentación de agua 1, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Ingenio Magdalena, S.A. tiene como ley parar el bloque de generación de energía cada 45 semanas por eso mismo se realizó este análisis de vibraciones para que nosotros como encargados de mantenimiento mecánico decir cuando intervenir en el bloque para un mantenimiento y así no se detiene la generación de energía cada 45 semanas si no es necesario.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de alimentación de agua 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se elaboró un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así nos lo indique los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0217 X + 1,3787$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0217 (90) + 1,3787 = 3,3317$$

3,3317 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0217 (135) + 1,3787 = 4,3082$$

4,3082 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que nos indica que para la semana 135 si necesita mantenimiento porque está a punto de llegar al rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1 y no esperar a que el rango de vibración se acerque al rango crítico de vibración que es 7,1 para no poner en riesgo el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de alimentación de agua 1 para chumacera lado acople, semana 135.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 135 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarán en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando nuestros valores de vibraciones.

$$Y = 0,0035 X + 1,6215$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0035 (90) + 1,6215 = 1,9365$$

1,9365 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0035 (135) + 1,6215 = 2,094$$

2,094 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que nos indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,  
 $Y = 0,0035 (135) + 1,6215 = 2,256$

2,256 es nuestro valor de vibración para la semana 180, según los rangos de vibración no necesita mantenimiento, pero tomando en cuenta la seguridad del equipo lo ideal sería aplicar un mantenimiento cada 180 semanas a los equipos que no se intervienen en la semana 90 y semana 135.

Mantenimiento ideal para la bomba de alimentación de agua 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

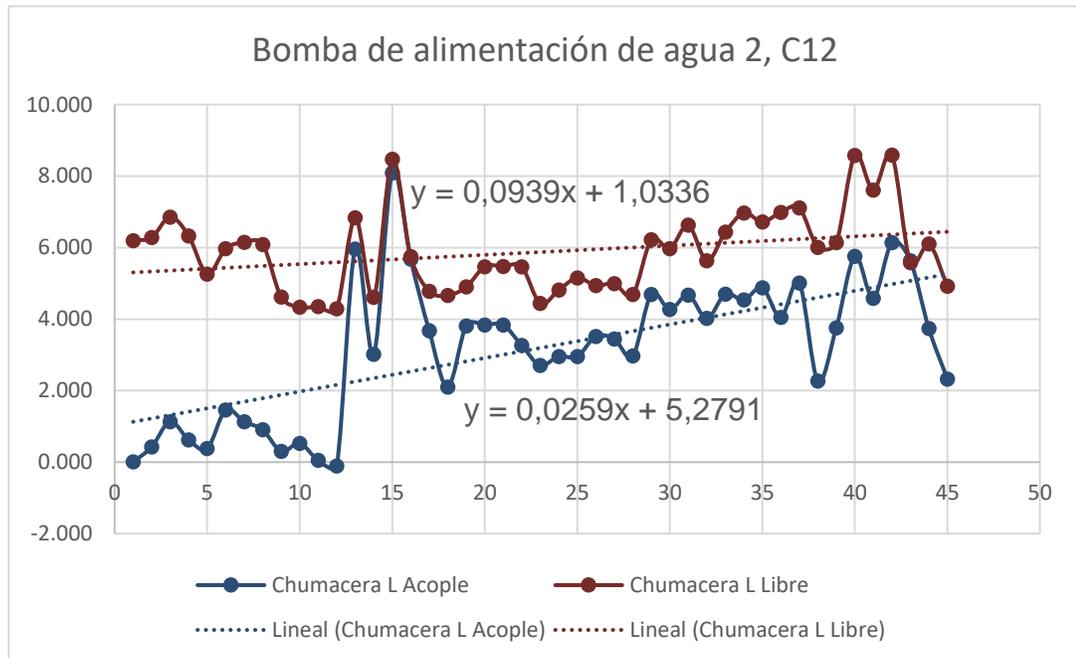
- Bomba de alimentación de agua 2

Tabla III. Valores de vibración bomba alimentación de agua 2, C12

| Valores de vibración bomba alimentación agua 2, C12 |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| Vibración global RMS                                |                    |                   |
| Semana  | Chumacera L Acople | Chumacera L Libre |
| 1   | 0,005              | 6,196             |
| 2   | 0,425              | 6,283             |
| 3   | 1,133              | 6,854             |
| 4   | 0,626              | 6,328             |
| 5   | 0,379              | 5,261             |
| 6   | 1,457              | 5,970             |
| 7   | 1,128              | 6,150             |
| 8   | 0,905              | 6,090             |
| 9   | 0,302              | 4,621             |
| 10  | 0,525              | 4,331             |
| 11  | 0,053              | 4,348             |
| 12  | -0,104             | 4,287             |
| 13  | 5,965              | 6,832             |
| 14  | 3,014              | 4,607             |
| 15  | 8,092              | 8,468             |
| 16  | 5,674              | 5,748             |
| 17  | 3,675              | 4,782             |
| 18  | 2,099              | 4,667             |
| 19  | 3,812              | 4,899             |
| 20  | 3,840              | 5,468             |
| 21  | 3,833              | 5,475             |
| 22  | 3,262              | 5,460             |
| 23  | 2,707              | 4,437             |
| 24  | 2,958              | 4,814             |
| 25  | 2,953              | 5,154             |
| 26  | 3,516              | 4,939             |
| 27  | 3,444              | 4,995             |
| 28  | 2,971              | 4,688             |
| 29  | 4,693              | 6,218             |
| 30  | 4,268              | 5,970             |
| 31  | 4,675              | 6,628             |
| 32  | 4,018              | 5,630             |
| 33  | 4,700              | 6,430             |
| 34  | 4,537              | 6,967             |
| 35  | 4,878              | 6,721             |
| 36  | 4,048              | 6,985             |
| 37  | 5,013              | 7,108             |
| 38  | 2,272              | 6,006             |
| 39  | 3,760              | 6,139             |
| 40  | 5,754              | 8,581             |
| 41  | 4,583              | 7,605             |
| 42  | 6,142              | 8,586             |
| 43  | 5,633              | 5,581             |
| 44  | 3,734              | 6,104             |
| 45  | 2,326              | 4,925             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 20. **Comportamiento de vibraciones en bomba de alimentación de agua 2, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de alimentación de agua 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0939 X + 1,0336$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0939 (90) + 1,0336 = 9,4846$$

9,4846 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que nos indica que necesita mantenimiento o revisar el equipo para verificar que problemas posiblemente indiquen los rangos de vibraciones críticos y así poder intervenir, y probablemente alargar la vida útil de los materiales y repuestos para la semana 135 como la bomba de alimentación de agua de chumacera lado acople.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0259 X + 5,2791$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0259 (90) + 5,2791 = 7,6101$$

7,6101 es nuestro valor de vibración para la semana 90, según el rango de vibración se encuentra arriba del rango crítico, lo ideal sería intervenir en esta semana.

En bomba de alimentación de agua 2, lo ideal es revisar el equipo para poder detectar el problema de los rangos de vibraciones altos y poder solucionarlo para poder intervenir el equipo en la semana 135 o semana 180.

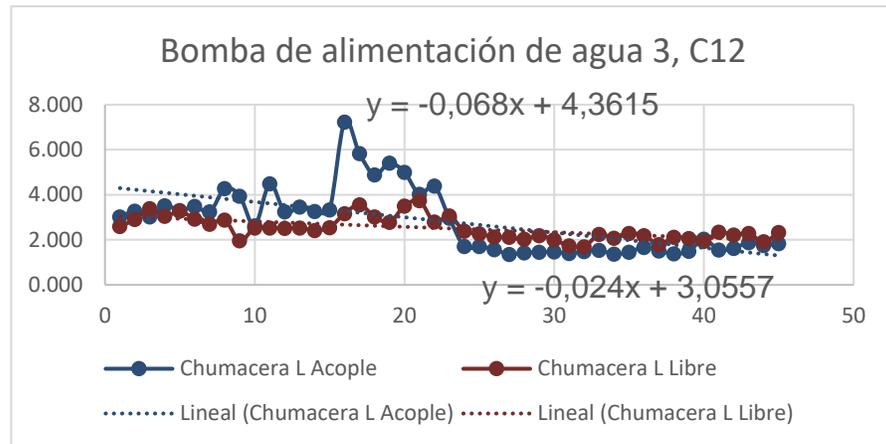
- Bomba de alimentación de agua 3

Tabla IV. **Valores de vibración bomba alimentación de agua 3, C12**

| Valores de vibración bomba alimentación agua 3, C12 |                  |                   |
|---|------------------|-------------------|
| Vibración global RMS                                |                  |                   |
| Semana  | Chumacera Acople | Chumacera L Libre |
| 1   | 3,025            | 2,595             |
| 2   | 3,276            | 2,909             |
| 3   | 3,017            | 3,388             |
| 4   | 3,522            | 3,056             |
| 5   | 3,302            | 3,273             |
| 6   | 3,482            | 2,922             |
| 7   | 3,244            | 2,700             |
| 8   | 4,274            | 2,884             |
| 9   | 3,940            | 1,958             |
| 10  | 2,621            | 2,528             |
| 11  | 4,493            | 2,522             |
| 12  | 3,244            | 2,517             |
| 13  | 3,457            | 2,529             |
| 14  | 3,263            | 2,420             |
| 15  | 3,329            | 2,547             |
| 16  | 7,232            | 3,164             |
| 17  | 5,827            | 3,565             |
| 18  | 4,883            | 3,028             |
| 19  | 5,408            | 2,782             |
| 20  | 4,999            | 3,497             |
| 21  | 4,030            | 3,740             |
| 22  | 4,385            | 2,788             |
| 23  | 2,966            | 3,066             |
| 24  | 1,704            | 2,390             |
| 25  | 1,714            | 2,276             |
| 26  | 1,570            | 2,125             |
| 27  | 1,356            | 2,113             |
| 28  | 1,429            | 2,027             |
| 29  | 1,456            | 2,185             |
| 30  | 1,463            | 2,008             |
| 31  | 1,392            | 1,735             |
| 32  | 1,486            | 1,689             |
| 33  | 1,542            | 2,237             |
| 34  | 1,368            | 2,073             |
| 35  | 1,452            | 2,282             |
| 36  | 1,670            | 2,193             |
| 37  | 1,516            | 1,797             |
| 38  | 1,381            | 2,111             |
| 39  | 1,495            | 2,065             |
| 40  | 2,037            | 1,935             |
| 41  | 1,552            | 2,345             |
| 42  | 1,630            | 2,222             |
| 43  | 1,877            | 2,282             |
| 44  | 1,749            | 1,913             |
| 45  | 1,840            | 2,329             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 21. **Comportamiento de vibraciones en bomba de alimentación de agua 3, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

En la bomba de alimentación de agua 3, solo se tiene un promedio de vibración por semana porque esta bomba solo ingresa a operación si por algún motivo falla la bomba de alimentación de agua 1 o la bomba de alimentación de agua 2.

- Valores de vibraciones para ventiladores inducidos

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que se tiene potencia de 560 HP, velocidad de 893 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 4,5, rango de vibración con alarma de 4,5 – 7,1 y un rango crítico de vibración de 7,1 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en ventilador inducido 1.

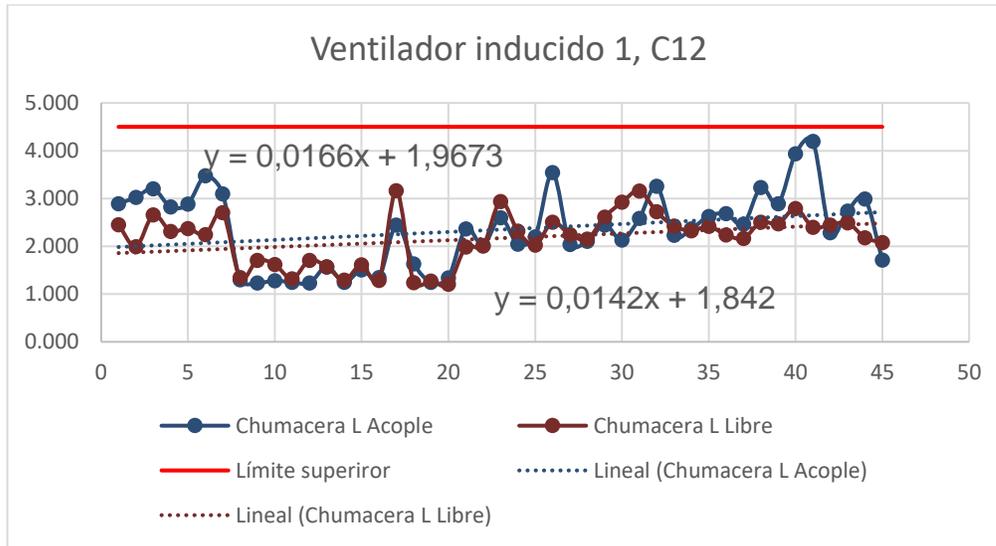
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla V. **Valores de vibración ventilador inducido 1, C12**

| <b>Valores de vibración ventilador inducido 1, C12</b> |                           |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                            |                           |                          |
| <b>Semana</b>  | <b>Chumacera L Acople</b> | <b>Chumacera L Libre</b> |
| 1  | 2,862                     | 2,053                    |
| 2  | 2,995                     | 1,592                    |
| 3  | 3,172                     | 2,255                    |
| 4  | 2,794                     | 1,915                    |
| 5  | 2,858                     | 1,975                    |
| 6  | 3,446                     | 1,845                    |
| 7  | 3,071                     | 2,303                    |
| 8  | 1,270                     | 0,945                    |
| 9  | 1,202                     | 1,306                    |
| 10   | 1,249                     | 1,217                    |
| 11   | 1,217                     | 0,921                    |
| 12   | 1,202                     | 1,306                    |
| 13   | 1,539                     | 1,171                    |
| 14   | 1,218                     | 0,890                    |
| 15   | 1,473                     | 1,210                    |
| 16   | 1,314                     | 0,887                    |
| 17   | 2,415                     | 2,761                    |
| 18   | 1,605                     | 0,840                    |
| 19   | 1,219                     | 0,870                    |
| 20   | 1,312                     | 0,806                    |
| 21   | 2,335                     | 1,584                    |
| 22   | 1,991                     | 1,607                    |
| 23   | 2,566                     | 2,541                    |
| 24   | 2,013                     | 1,919                    |
| 25   | 2,168                     | 1,627                    |
| 26   | 3,511                     | 2,105                    |
| 27   | 2,011                     | 1,843                    |
| 28   | 2,074                     | 1,752                    |
| 29   | 2,417                     | 2,212                    |
| 30   | 2,102                     | 2,522                    |
| 31   | 2,552                     | 2,760                    |
| 32   | 3,227                     | 2,322                    |
| 33   | 2,199                     | 2,025                    |
| 34   | 2,336                     | 1,926                    |
| 35   | 2,598                     | 2,018                    |
| 36   | 2,652                     | 1,838                    |
| 37   | 2,433                     | 1,766                    |
| 38   | 3,200                     | 2,107                    |
| 39   | 2,859                     | 2,072                    |
| 40   | 3,908                     | 2,391                    |
| 41   | 4,170                     | 2,000                    |
| 42   | 2,256                     | 2,048                    |
| 43   | 2,710                     | 2,091                    |
| 44   | 2,962                     | 1,780                    |
| 45   | 1,680                     | 1,679                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 22. **Comportamiento de vibraciones en ventilador inducido 1, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

De igual manera para este estudio se analizó lado acople y lado libre de ambos ventiladores inducidos que conforman el bloque de generación de energía, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0166 X + 1,9373$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0166 (90) + 1,9373 = 3,4313$$

3,4313 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0166 (135) + 1,9373 = 4,1783$$

4,1783 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0166 (180) + 1,9373 = 4,9253$$

4,9253 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que nos indicaría que si necesita mantenimiento porque se encuentra en el rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1 y así poder alargar la vida útil del equipo.

Mantenimiento ideal para ventilador inducido 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 e puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0142 X + 1,4427$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0142 (90) + 1,4427 = 2,7207$$

2,7207 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0142 (135) + 1,4427 = 3,3597$$

3,3597 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0142 (180) + 1,4427 = 3,9987$$

3,9987 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que nos indica que para la semana 180 si necesita mantenimiento porque está a punto de llegar al rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1 y no esperar a que el rango de vibración se acerque al rango crítico de vibración que es 7,1 para no poner en riesgo el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para ventilador inducido 1 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

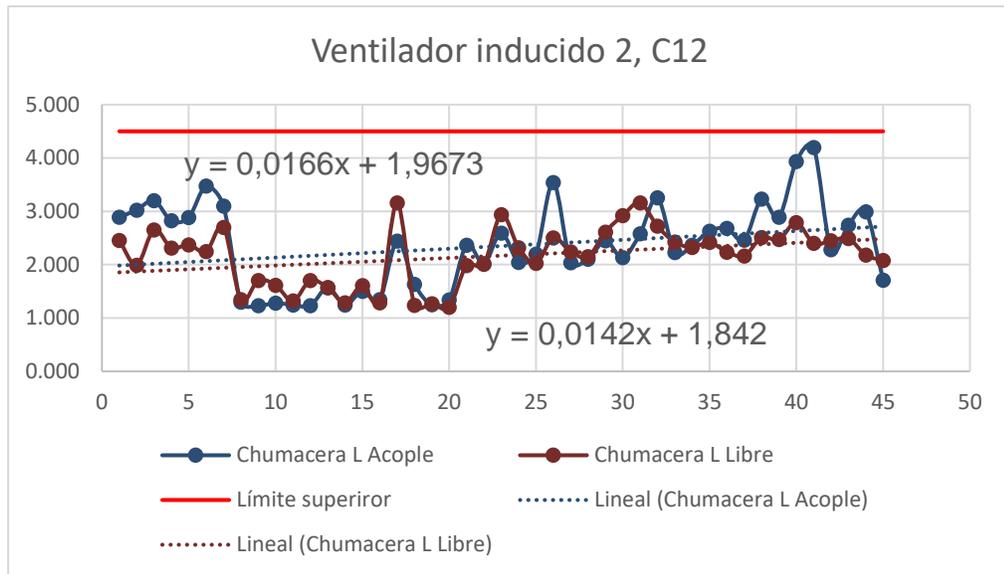
- Ventilador inducido 2

Tabla VI. **Valores de vibración ventilador inducido 2, C12**

| <b>Valores de vibración ventilador inducido 2, C12</b> |                               |                              |
|--|-------------------------------|------------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                            |                               |                              |
| <b>Semana</b>  | <b>Chumacera<br/>L Acople</b> | <b>Chumacera<br/>L Libre</b> |
| 1  | 2,892                         | 2,453                        |
| 2  | 3,025                         | 1,992                        |
| 3  | 3,202                         | 2,655                        |
| 4  | 2,824                         | 2,315                        |
| 5  | 2,888                         | 2,375                        |
| 6  | 3,476                         | 2,245                        |
| 7  | 3,101                         | 2,703                        |
| 8  | 1,300                         | 1,345                        |
| 9  | 1,232                         | 1,706                        |
| 10   | 1,279                         | 1,617                        |
| 11   | 1,247                         | 1,321                        |
| 12   | 1,232                         | 1,706                        |
| 13   | 1,569                         | 1,571                        |
| 14   | 1,248                         | 1,290                        |
| 15   | 1,503                         | 1,610                        |
| 16   | 1,344                         | 1,287                        |
| 17   | 2,445                         | 3,161                        |
| 18   | 1,635                         | 1,240                        |
| 19   | 1,249                         | 1,270                        |
| 20   | 1,342                         | 1,206                        |
| 21   | 2,365                         | 1,984                        |
| 22   | 2,021                         | 2,007                        |
| 23   | 2,596                         | 2,941                        |
| 24   | 2,043                         | 2,319                        |
| 25   | 2,198                         | 2,027                        |
| 26   | 3,541                         | 2,505                        |
| 27   | 2,041                         | 2,243                        |
| 28   | 2,104                         | 2,152                        |
| 29   | 2,447                         | 2,612                        |
| 30   | 2,132                         | 2,922                        |
| 31   | 2,582                         | 3,160                        |
| 32   | 3,257                         | 2,722                        |
| 33   | 2,229                         | 2,425                        |
| 34   | 2,366                         | 2,326                        |
| 35   | 2,628                         | 2,418                        |
| 36   | 2,682                         | 2,238                        |
| 37   | 2,463                         | 2,166                        |
| 38   | 3,230                         | 2,507                        |
| 39   | 2,889                         | 2,472                        |
| 40   | 3,938                         | 2,791                        |
| 41   | 4,200                         | 2,400                        |
| 42   | 2,286                         | 2,448                        |
| 43   | 2,740                         | 2,491                        |
| 44   | 2,992                         | 2,180                        |
| 45   | 1,710                         | 2,079                        |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 23. **Comportamiento de vibraciones en ventilador inducido 1, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

De igual manera para este estudio se analizó lado acople y lado libre de ambos ventiladores inducidos que conforman el bloque de generación de energía, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0166 X + 1,9673$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0166 (90) + 1,9673 = 3,4613$$

3,4613 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0166 (135) + 1,9673 = 4,2083$$

4,2083 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0166 (180) + 1,9673 = 4,9553$$

4,9553 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que nos indicaría que si necesita mantenimiento porque se encuentra en el rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1 y así poder alargar la vida útil del equipo.

Mantenimiento ideal para ventilador inducido 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así nos lo vaya indicando nuestros valores de vibraciones.

$$Y = 0,0142 X + 1,8427$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0142 (90) + 1,8427 = 3,1207$$

3,1207 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que nos indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0142 (135) + 1,8427 = 3,7597$$

3,7597 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0142 (180) + 1,8427 = 4,3987$$

4,3987 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que indica que para la semana 180 si necesita mantenimiento porque está a punto de llegar al rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1 y no esperar a que el rango de vibración se acerque al rango crítico de vibración que es 7,1 para no poner en riesgo el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para ventilador inducido 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

- Valores de vibraciones para ventiladores primarios
  - Ventilador primario 1

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 177 HP, velocidad de 1 184 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 2,8, rango de vibración con alarma de 2,8 - 4,5 y un rango crítico de vibración de 4,5 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones del ventilador primario 1.

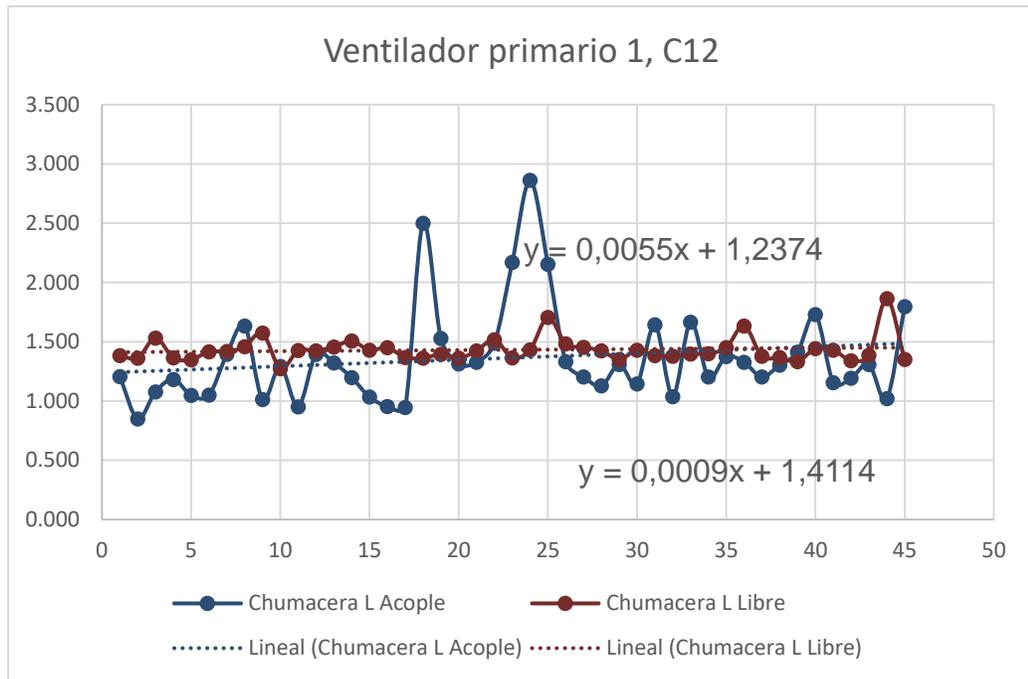
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla VII. **Valores de vibración ventilador primario 1, C12**

| <b>Valores de vibración ventilador primario 1, C12</b> |                         |          |                        |
|--|-------------------------|----------|------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                            |                         |          |                        |
| <b>Semana</b>  | <b>Chumacera Acople</b> | <b>L</b> | <b>Chumacera Libre</b> |
| 1  | 1,146                   |          | 1,284                  |
| 2  | 0,790                   |          | 1,261                  |
| 3  | 1,018                   |          | 1,432                  |
| 4  | 1,122                   |          | 1,264                  |
| 5  | 0,988                   |          | 1,248                  |
| 6  | 0,990                   |          | 1,316                  |
| 7  | 1,334                   |          | 1,317                  |
| 8  | 1,574                   |          | 1,358                  |
| 9  | 0,954                   |          | 1,473                  |
| 10   | 1,231                   |          | 1,173                  |
| 11   | 0,892                   |          | 1,326                  |
| 12   | 1,334                   |          | 1,324                  |
| 13   | 1,260                   |          | 1,356                  |
| 14   | 1,138                   |          | 1,407                  |
| 15   | 0,974                   |          | 1,329                  |
| 16   | 0,893                   |          | 1,350                  |
| 17   | 0,885                   |          | 1,268                  |
| 18   | 2,439                   |          | 1,262                  |
| 19   | 1,468                   |          | 1,294                  |
| 20   | 1,253                   |          | 1,261                  |
| 21   | 1,267                   |          | 1,323                  |
| 22   | 1,428                   |          | 1,419                  |
| 23   | 2,109                   |          | 1,265                  |
| 24   | 2,802                   |          | 1,332                  |
| 25   | 2,095                   |          | 1,606                  |
| 26   | 1,272                   |          | 1,383                  |
| 27   | 1,144                   |          | 1,354                  |
| 28   | 1,067                   |          | 1,323                  |
| 29   | 1,249                   |          | 1,252                  |
| 30   | 1,085                   |          | 1,328                  |
| 31   | 1,585                   |          | 1,284                  |
| 32   | 0,978                   |          | 1,279                  |
| 33   | 1,606                   |          | 1,297                  |
| 34   | 1,144                   |          | 1,300                  |
| 35   | 1,316                   |          | 1,351                  |
| 36   | 1,267                   |          | 1,534                  |
| 37   | 1,143                   |          | 1,277                  |
| 38   | 1,244                   |          | 1,266                  |
| 39   | 1,354                   |          | 1,232                  |
| 40   | 1,671                   |          | 1,343                  |
| 41   | 1,096                   |          | 1,330                  |
| 42   | 1,133                   |          | 1,241                  |
| 43   | 1,249                   |          | 1,287                  |
| 44   | 0,961                   |          | 1,764                  |
| 45   | 1,736                   |          | 1,251                  |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 24. **Comportamiento de vibraciones en ventilador primario 1, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

De igual manera para este estudio se analizó lado acople y lado libre de ambos ventiladores primarios que conforman el bloque de generación de energía, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0055 X + 1,1774$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0055 (90) + 1,1774 = 1,6724$$

1,6724 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0055 (135) + 1,1774 = 1,9199$$

1,9199 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0055 (180) + 1,1774 = 2,1674$$

2,1674 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque se acerca al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5 y así poder alargar la vida útil del equipo.

Mantenimiento ideal para ventilador primario 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0009 X + 1,3114$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0009 (90) + 1,3114 = 1,3924$$

1,3924 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0009 (135) + 1,3114 = 1,4329$$

1,4329 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0009 (180) + 1,3114 = 1,4734$$

1,4734 es nuestro valor

de vibración para la semana 180, lo que indica que para la semana 180 no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo ideal del programa de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones es que cuando un equipo no llega a los rangos de vibraciones de alarma en el tercer periodo de mantenimiento que es la semana 180 se intervenga para realizarle su respectivo mantenimiento y volver a repetir el ciclo de mantenimiento siempre y cuando los valores de vibraciones lo permitan.

Mantenimiento ideal para ventilador primario 1 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

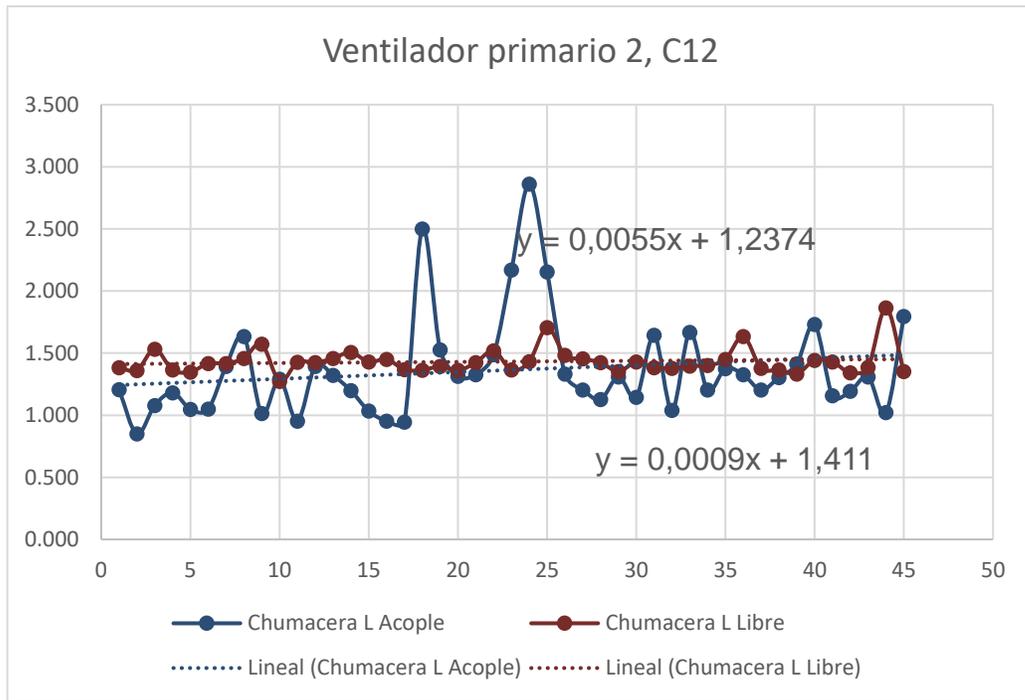
- Ventilador primario 2

Tabla VIII. **Valores de vibración ventilador primario 2, C12**

| <b>Valores de vibración ventilador primario 2, C12</b> |                         |                            |
|--|-------------------------|----------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                            |                         |                            |
| <b>Semana</b>  | <b>Chumacera Acople</b> | <b>L Chumacera L Libre</b> |
| 1  | 1,206                   | 1,384                      |
| 2  | 0,850                   | 1,361                      |
| 3  | 1,078                   | 1,532                      |
| 4  | 1,182                   | 1,364                      |
| 5  | 1,048                   | 1,348                      |
| 6  | 1,050                   | 1,416                      |
| 7  | 1,394                   | 1,417                      |
| 8  | 1,634                   | 1,458                      |
| 9  | 1,014                   | 1,573                      |
| 10   | 1,291                   | 1,273                      |
| 11   | 0,952                   | 1,426                      |
| 12   | 1,394                   | 1,424                      |
| 13   | 1,320                   | 1,456                      |
| 14   | 1,198                   | 1,507                      |
| 15   | 1,034                   | 1,429                      |
| 16   | 0,953                   | 1,450                      |
| 17   | 0,945                   | 1,368                      |
| 18   | 2,499                   | 1,362                      |
| 19   | 1,528                   | 1,394                      |
| 20   | 1,313                   | 1,361                      |
| 21   | 1,327                   | 1,423                      |
| 22   | 1,488                   | 1,519                      |
| 23   | 2,169                   | 1,365                      |
| 24   | 2,862                   | 1,432                      |
| 25   | 2,155                   | 1,706                      |
| 26   | 1,332                   | 1,483                      |
| 27   | 1,204                   | 1,454                      |
| 28   | 1,127                   | 1,423                      |
| 29   | 1,309                   | 1,352                      |
| 30   | 1,145                   | 1,428                      |
| 31   | 1,645                   | 1,384                      |
| 32   | 1,038                   | 1,379                      |
| 33   | 1,666                   | 1,397                      |
| 34   | 1,204                   | 1,400                      |
| 35   | 1,376                   | 1,451                      |
| 36   | 1,327                   | 1,634                      |
| 37   | 1,203                   | 1,377                      |
| 38   | 1,304                   | 1,366                      |
| 39   | 1,414                   | 1,332                      |
| 40   | 1,731                   | 1,443                      |
| 41   | 1,156                   | 1,430                      |
| 42   | 1,193                   | 1,341                      |
| 43   | 1,309                   | 1,387                      |
| 44   | 1,021                   | 1,864                      |
| 45   | 1,796                   | 1,351                      |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 25. **Comportamiento de vibraciones en ventilador primario 2, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

De igual manera para este estudio se analizó lado acople y lado libre de ambos ventiladores primarios que conforman el bloque de generación de energía, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0055 X + 1,2374$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0055 (90) + 1,2374 = 1,7324$$

1,7324 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0055 (135) + 1,2374 = 1,9799$$

1,9799 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0055 (180) + 1,2374 = 2,2274$$

2,2274 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque se acerca al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5 y así poder alargar la vida útil de nuestro equipo.

Mantenimiento ideal para ventilador primario 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0009 X + 1,4114$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0009 (90) + 1,4114 = 1,4924$$

1,4924 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0009 (135) + 1,4114 = 1,5329$$

1,5329 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0009 (180) + 1,4114 = 1,5734$$

1,5734 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que indica que para la semana 180 no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo ideal del programa de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones es que cuando un equipo no llega a los rangos de vibraciones de alarma en el tercer periodo de mantenimiento que es la semana 180 se intervenga para hacerle su respectivo mantenimiento y volver a repetir el ciclo de mantenimiento siempre y cuando los valores de vibraciones lo permitan.

Mantenimiento ideal para ventilador primario 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

- Valores de vibraciones para ventiladores secundarios
  - Ventilador secundario 1

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a la semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 301 HP, velocidad de 1 786 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 2,8, rango de vibración con alarma de 2,8 - 4,5 y un rango crítico de vibración de 4,5 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en ventilador secundario 1.

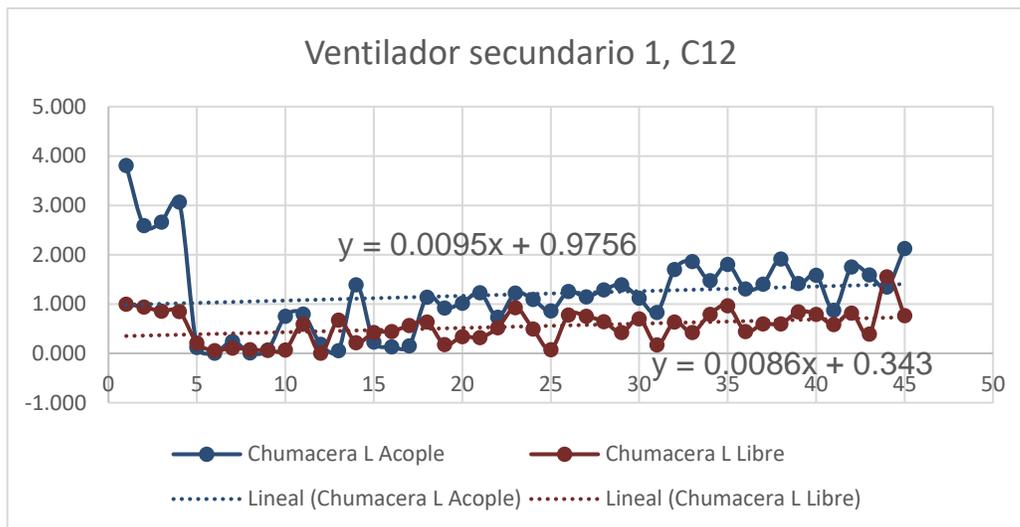
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla IX. **Valores de vibración ventilador secundario 1, C12**

| Valores de vibración ventilador secundario 1, C12 |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| Vibración global RMS                              |                    |                   |
| Semana  | Chumacera L Acople | Chumacera L Libre |
| 1   | 4,010              | 1,300             |
| 2   | 2,791              | 1,240             |
| 3   | 2,862              | 1,156             |
| 4   | 3,272              | 1,148             |
| 5   | 0,324              | 0,515             |
| 6   | 0,205              | 0,359             |
| 7   | 0,447              | 0,410             |
| 8   | 0,214              | 0,378             |
| 9   | 0,272              | 0,361             |
| 10  | 0,057              | 0,369             |
| 11  | 0,096              | 0,91              |
| 12  | 0,384              | 0,309             |
| 13  | 0,261              | 0,274             |
| 14  | 1,593              | 0,520             |
| 15  | 0,431              | 0,024             |
| 16  | 0,335              | 0,047             |
| 17  | 0,357              | 0,166             |
| 18  | 1,341              | 0,941             |
| 19  | 1,120              | 0,481             |
| 20  | 1,220              | 0,640             |
| 21  | 1,430              | 0,623             |
| 22  | 0,934              | 0,821             |
| 23  | 1,423              | 1,225             |
| 24  | 1,293              | 0,796             |
| 25  | 1,061              | 0,377             |
| 26  | 1,454              | 1,079             |
| 27  | 1,345              | 1,053             |
| 28  | 1,491              | 0,943             |
| 29  | 1,592              | 0,725             |
| 30  | 1,323              | 1,003             |
| 31  | 1,029              | 0,475             |
| 32  | 1,904              | 0,936             |
| 33  | 2,066              | 0,728             |
| 34  | 1,676              | 1,096             |
| 35  | 2,003              | 1,266             |
| 36  | 1,509              | 0,747             |
| 37  | 1,608              | 0,898             |
| 38  | 2,113              | 0,899             |
| 39  | 1,619              | 1,144             |
| 40  | 1,786              | 1,096             |
| 41  | 1,079              | 0,884             |
| 42  | 1,954              | 1,121             |
| 43  | 1,790              | 0,690             |
| 44  | 1,545              | 1,851             |
| 45  | 2,327              | 1,069             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 26. **Comportamiento de vibraciones en ventilador secundario 1, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

De igual manera para este estudio se analizó lado acople y lado libre de ambos ventiladores secundarios que conforman el bloque de generación de energía, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0125 X + 1,0674$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90

$$Y = 0,0125 (90) + 1,0674 = 2,1924$$

2,1924 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2.8 – 4.5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0125 (135) + 1,0674 = 2,7549$$

2,7549 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Mantenimiento ideal para ventilador secundario 1 para chumacera lado acople, semana 135.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 135 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento

que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así nos lo vaya indicando nuestros valores de vibraciones.

$$Y = 0,0126 X + 0,474$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0126 (90) + 0,474 = 1,608$$

1,608 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0126 (135) + 0,474 = 2,175$$

2,175 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0126 (180) + 0,474 = 2,742$$

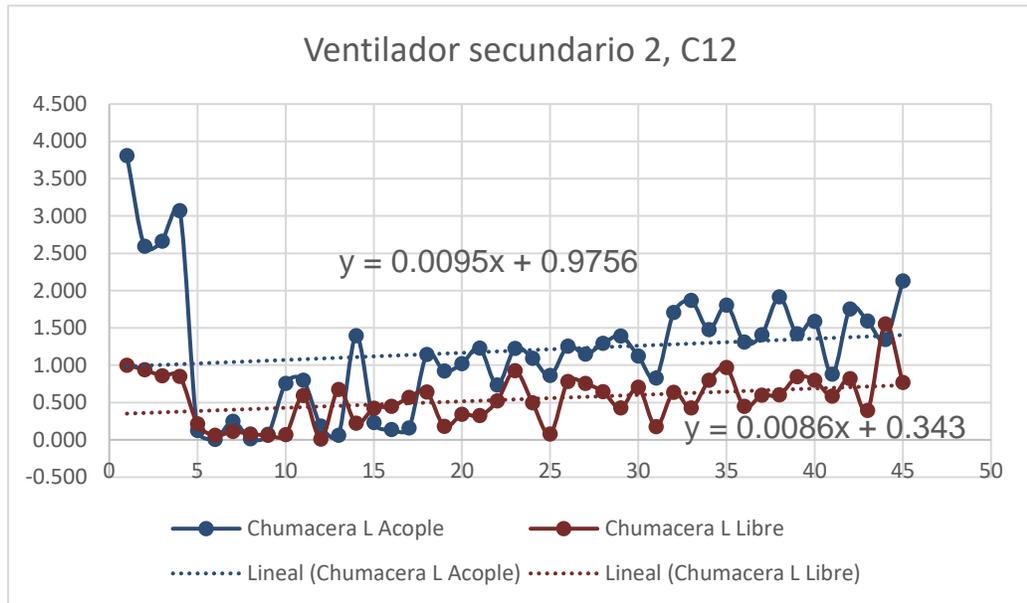
2,742 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que indica que para la semana 180 si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Tabla X. **Valores de vibración ventilador secundario 2, C12**

| Valores de vibración ventilador secundario 2, C12 |                               |                              |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                       |                               |                              |
| <b>Semana</b>                                     | <b>Chumacera<br/>L Acople</b> | <b>Chumacera<br/>L Libre</b> |
| 1   | 3,810                         | 1,000                        |
| 2   | 2,591                         | 0,940                        |
| 3   | 2,662                         | 0,856                        |
| 4   | 3,072                         | 0,848                        |
| 5   | 0,124                         | 0,215                        |
| 6   | 0,005                         | 0,059                        |
| 7   | 0,247                         | 0,110                        |
| 8   | 0,014                         | 0,078                        |
| 9   | 0,072                         | 0,061                        |
| 10  | 0,757                         | 0,069                        |
| 11  | 0,796                         | 0,591                        |
| 12  | 0,184                         | 0,009                        |
| 13  | 0,061                         | 0,674                        |
| 14  | 1,393                         | 0,220                        |
| 15  | 0,231                         | 0,424                        |
| 16  | 0,135                         | 0,447                        |
| 17  | 0,157                         | 0,566                        |
| 18  | 1,141                         | 0,641                        |
| 19  | 0,920                         | 0,181                        |
| 20  | 1,020                         | 0,340                        |
| 21  | 1,230                         | 0,323                        |
| 22  | 0,734                         | 0,521                        |
| 23  | 1,223                         | 0,925                        |
| 24  | 1,093                         | 0,496                        |
| 25  | 0,861                         | 0,077                        |
| 26  | 1,254                         | 0,779                        |
| 27  | 1,145                         | 0,753                        |
| 28  | 1,291                         | 0,643                        |
| 29  | 1,392                         | 0,425                        |
| 30  | 1,123                         | 0,703                        |
| 31  | 0,829                         | 0,175                        |
| 32  | 1,704                         | 0,636                        |
| 33  | 1,866                         | 0,428                        |
| 34  | 1,476                         | 0,796                        |
| 35  | 1,803                         | 0,966                        |
| 36  | 1,309                         | 0,447                        |
| 37  | 1,408                         | 0,598                        |
| 38  | 1,913                         | 0,599                        |
| 39  | 1,419                         | 0,844                        |
| 40  | 1,586                         | 0,796                        |
| 41  | 0,879                         | 0,584                        |
| 42  | 1,754                         | 0,821                        |
| 43  | 1,590                         | 0,390                        |
| 44  | 1,345                         | 1,551                        |
| 45  | 2,127                         | 0,769                        |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 27. **Comportamiento de vibraciones en ventilador secundario 2, C12**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

De igual manera para este estudio se analizó lado acople y lado libre de ambos ventiladores secundarios que conforman el bloque de generación de energía, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán nuestras semanas y la variable y serán nuestros valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0095 X + 0,9756$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0095 (90) + 0,9756 = 1,8306$$

1,8306 es nuestro valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0095 (135) + 0,9756 = 2,2581$$

2,2581 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2.8 – 4.5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0095 (180) + 0,9756 = 2,6856$$

2,6856 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar a nuestro rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5 y así poder alargar la vida útil del equipo.

Mantenimiento ideal para ventilador secundario 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando nuestros valores de vibraciones.

$$Y = 0,0086 X + 0,343$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0086 (90) + 0,343 = 1,117$$

1,117 sería es valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0086 (135) + 0,343 = 1,504$$

1,504 es nuestro valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0086 (180) + 0,343 = 1,891$$

1,891 es nuestro valor de vibración para la semana 180, lo que indica que para la semana 180 no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo ideal del programa de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones es que cuando un equipo no llega a los rangos de vibraciones de alarma en el tercer periodo de mantenimiento que es la semana 180 se intervenga para realizarle su respectivo mantenimiento y volver a repetir el ciclo de mantenimiento siempre y cuando los valores de vibraciones lo permitan.

Mantenimiento ideal para ventilador secundario 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Figura 28. **Resumen de tendencias lineales en equipos rotativos, C12**

| Equipo:      | Punto:      | Regresión lineal       | S90    | S135    | S180    | Valor Alarma |
|--------------|-------------|------------------------|--------|---------|---------|--------------|
| Inducido 1   | Lado acople | $Y= 0.0166 X + 1.9373$ | 3.4313 | 4.1783  | 4.9253  | 4.5          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0142 X + 1.4427$ | 2.7207 | 3.3597  | 3.9987  | 4.5          |
| Inducido 2   | Lado acople | $Y= 0.0166 X + 1.9673$ | 3.4613 | 4.2083  | 4.9553  | 4.5          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0142 X + 1.8427$ | 3.1207 | 3.7597  | 4.3987  | 4.5          |
| Primario 1   | Lado acople | $Y= 0.0055 X + 1.1774$ | 1.6724 | 1.9199  | 2.1674  | 2.8          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0009 X + 1.3114$ | 1.3924 | 1.4329  | 1.4734  | 2.8          |
| Primario 2   | Lado acople | $Y= 0.0055 X + 1.2374$ | 1.7324 | 1.9799  | 2.2274  | 2.8          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0009 X + 1.4114$ | 1.4924 | 1.5329  | 1.5734  | 2.8          |
| Secundario 1 | Lado acople | $Y= 0.0125 X + 1.0674$ | 2.1924 | 2.7549  | 3.3174  | 2.8          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0126 X + 0.474$  | 1.608  | 2.175   | 2.742   | 2.8          |
| Secundario 2 | Lado acople | $Y= 0.0095 X + 0.9756$ | 1.8306 | 2.2581  | 2.6856  | 2.8          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0086 X + 0.343$  | 1.117  | 1.504   | 1.891   | 2.8          |
| Bomba 1      | Lado acople | $Y= 0.0217 X + 1.3787$ | 3.3317 | 4.3082  | 5.2847  | 4.5          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0035 X + 1.6215$ | 1.9365 | 2.094   | 2.2515  | 4.5          |
| Bomba 2      | Lado acople | $Y= 0.0939 X + 1.0336$ | 9.4846 | 13.7101 | 17.9356 | 4.5          |
|              | Lado libre  | $Y= 0.0259 X + 5.2791$ | 7.610  | 8.7756  | 9.9411  | 4.5          |
| Bomba 3      | Lado acople | $Y= -0.068 X + 4.3565$ | -1.764 | -4.824  | -7.884  | 4.5          |
|              | Lado libre  | $Y= -0.024 X + 3.0507$ | 0.891  | -0.189  | -1.269  | 4.5          |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

### 2.1.3.2. Análisis de mantenimiento preventivo utilizando vibraciones como método de monitoreo por condición para los equipos rotativos que conforman una turbina de vapor Siemens

A continuación, se presentan los valores de vibración de cada uno de los equipos rotativos que conforman una turbina de vapor que pertenece al bloque 6 de generación de energía.

- Valores de vibraciones para bombas de lubricación

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 40 HP, velocidad de 1 750 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 2,8, rango de vibración con alarma de 2,8 – 4,5 y un rango crítico de vibración de 4,5 o mayor.

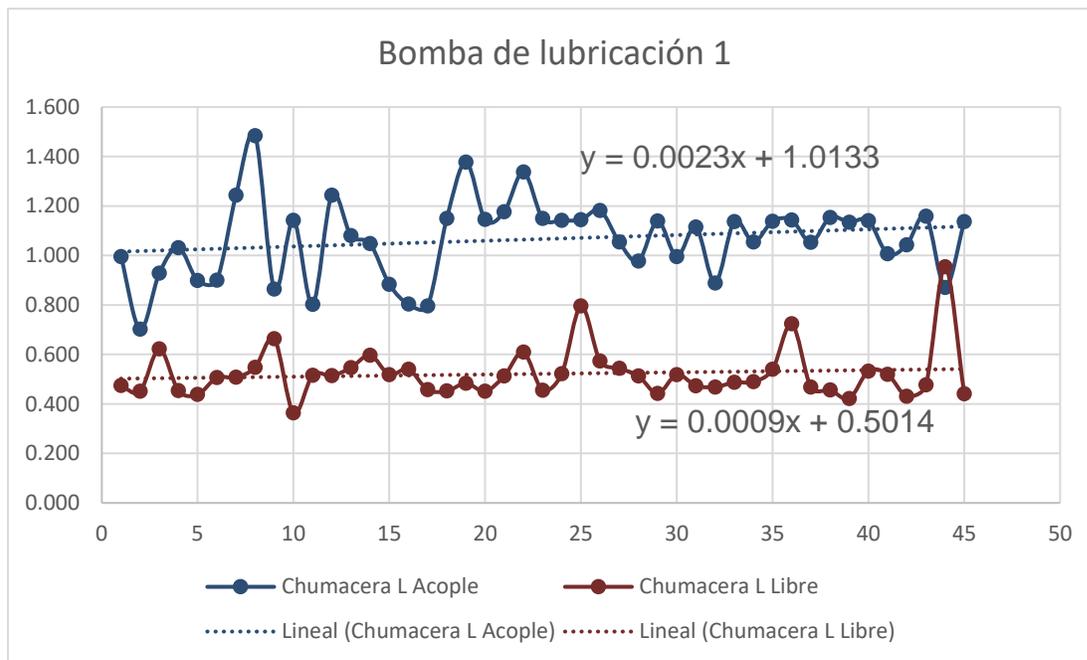
Esto se monitor por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en la bomba de lubricación 1.

Tabla XI. **Valores de vibración bomba de lubricación 1**

| <b>Valores de vibración bomba de lubricación 1</b> |                           |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                        |                           |                          |
| <b>Semana</b>                                      | <b>Chumacera L Acople</b> | <b>Chumacera L Libre</b> |
| 1  | 1,056                     | 0,384                    |
| 2  | 0,700                     | 0,361                    |
| 3  | 0,928                     | 0,532                    |
| 4  | 1,032                     | 0,364                    |
| 5  | 0,898                     | 0,348                    |
| 6  | 0,900                     | 0,416                    |
| 7  | 1,147                     | 0,417                    |
| 8  | 1,104                     | 0,458                    |
| 9  | 0,864                     | 0,573                    |
| 10   | 1,141                     | 0,273                    |
| 11   | 0,802                     | 0,426                    |
| 12   | 1,244                     | 0,424                    |
| 13   | 1,071                     | 0,456                    |
| 14   | 1,048                     | 0,507                    |
| 15   | 0,884                     | 0,429                    |
| 16   | 0,803                     | 0,450                    |
| 17   | 0,795                     | 0,368                    |
| 18   | 1,149                     | 0,362                    |
| 19   | 1,128                     | 0,394                    |
| 20   | 1,145                     | 0,361                    |
| 21   | 1,147                     | 0,423                    |
| 22   | 1,138                     | 0,519                    |
| 23   | 1,149                     | 0,365                    |
| 24   | 1,142                     | 0,432                    |
| 25   | 1,145                     | 0,706                    |
| 26   | 1,142                     | 0,483                    |
| 27   | 1,054                     | 0,454                    |
| 28   | 0,977                     | 0,423                    |
| 29   | 1,140                     | 0,352                    |
| 30   | 0,995                     | 0,428                    |
| 31   | 1,115                     | 0,384                    |
| 32   | 0,888                     | 0,379                    |
| 33   | 1,137                     | 0,397                    |
| 34   | 1,054                     | 0,400                    |
| 35   | 1,138                     | 0,451                    |
| 36   | 1,143                     | 0,634                    |
| 37   | 1,053                     | 0,377                    |
| 38   | 1,134                     | 0,366                    |
| 39   | 1,134                     | 0,332                    |
| 40   | 1,141                     | 0,443                    |
| 41   | 1,006                     | 0,430                    |
| 42   | 1,043                     | 0,341                    |
| 43   | 1,147                     | 0,387                    |
| 44   | 0,871                     | 0,864                    |
| 45   | 1,136                     | 0,351                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 29. **Comportamiento de vibraciones en bomba de lubricación 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Ingenio Magdalena, S.A. tienen como ley para el bloque de generación de energía cada 45 semanas por eso mismo se realizó este análisis de vibraciones para que nosotros como encargados de mantenimiento mecánico decidamos cuando intervenir en el bloque para un mantenimiento y así no se detiene la generación de energía cada 45 semanas si no es necesario.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de lubricación 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán las semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0032 X + 0,9713$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0032 (90) + 0,9713 = 1,2593$$

1,2593 es el valor de vibración para la semana 90, lo que nos indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0032 (135) + 0,9713 = 1,4033$$

1,4033 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0032 (180) + 0,9713 = 1,5473$$

1,5473 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así se mantiene el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de lubricación 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0009 X + 0,4114$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0009 (90) + 0,4114 = 0,4924$$

0,4924 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0009 (135) + 0,4114 = 0,5329$$

0,5329 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0009 (180) + 0,4114 = 0,5734$$

0,5734 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de lubricación 1 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

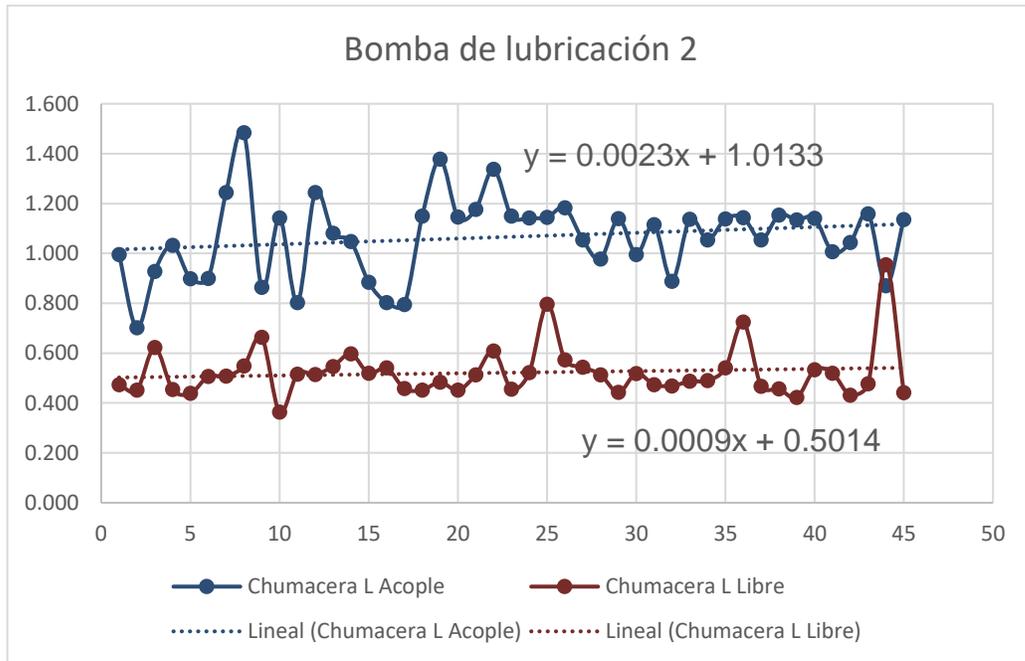
- Bomba de lubricación 2

Tabla XII. **Valores de vibración bomba de lubricación 2**

| <b>Valores de vibración bomba de lubricación 2</b> |                           |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                        |                           |                          |
| <b>Semana</b>                                      | <b>Chumacera L Acople</b> | <b>Chumacera L Libre</b> |
| 1  | 0,996                     | 0,474                    |
| 2  | 0,702                     | 0,451                    |
| 3  | 0,928                     | 0,622                    |
| 4  | 1,032                     | 0,454                    |
| 5  | 0,898                     | 0,438                    |
| 6  | 0,900                     | 0,506                    |
| 7  | 1,244                     | 0,507                    |
| 8  | 1,484                     | 0,548                    |
| 9  | 0,864                     | 0,663                    |
| 10   | 1,141                     | 0,363                    |
| 11   | 0,802                     | 0,516                    |
| 12   | 1,244                     | 0,514                    |
| 13   | 1,080                     | 0,546                    |
| 14   | 1,048                     | 0,597                    |
| 15   | 0,884                     | 0,519                    |
| 16   | 0,803                     | 0,540                    |
| 17   | 0,795                     | 0,458                    |
| 18   | 1,149                     | 0,452                    |
| 19   | 1,378                     | 0,484                    |
| 20   | 1,145                     | 0,451                    |
| 21   | 1,177                     | 0,513                    |
| 22   | 1,338                     | 0,609                    |
| 23   | 1,149                     | 0,455                    |
| 24   | 1,142                     | 0,522                    |
| 25   | 1,145                     | 0,796                    |
| 26   | 1,182                     | 0,573                    |
| 27   | 1,054                     | 0,544                    |
| 28   | 0,977                     | 0,513                    |
| 29   | 1,140                     | 0,442                    |
| 30   | 0,995                     | 0,518                    |
| 31   | 1,115                     | 0,474                    |
| 32   | 0,888                     | 0,469                    |
| 33   | 1,137                     | 0,487                    |
| 34   | 1,054                     | 0,490                    |
| 35   | 1,138                     | 0,541                    |
| 36   | 1,143                     | 0,724                    |
| 37   | 1,053                     | 0,467                    |
| 38   | 1,154                     | 0,456                    |
| 39   | 1,134                     | 0,422                    |
| 40   | 1,141                     | 0,533                    |
| 41   | 1,006                     | 0,520                    |
| 42   | 1,043                     | 0,431                    |
| 43   | 1,159                     | 0,477                    |
| 44   | 0,871                     | 0,954                    |
| 45   | 1,136                     | 0,441                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 30. **Comportamiento de vibraciones en bomba de lubricación 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de lubricación 2 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0023 X + 1,0133$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0023 (90) + 1,0133 = 1,2203$$

1,2203 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0023 (135) + 1,0133 = 1,3238$$

1,3238 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0023 (180) + 1,0133 = 1,4273$$

1,4273 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se

pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de lubricación 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0009 X + 0,5014$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0009 (90) + 0,5014 = 0,5824$$

0,5824 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0009 (135) + 0,5014 = 0,6229$$

0,6229 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0009 (180) + 0,5014 = 0,6634$$

0,6634 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de lubricación 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

- Valores de vibraciones para bombas de circulación
  - Bomba de circulación 1

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 725 HP, velocidad de 710 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 2,8, rango de vibración con alarma de 2,8 – 4,5 y un rango crítico de vibración de 4,5 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en la bomba de circulación 1.

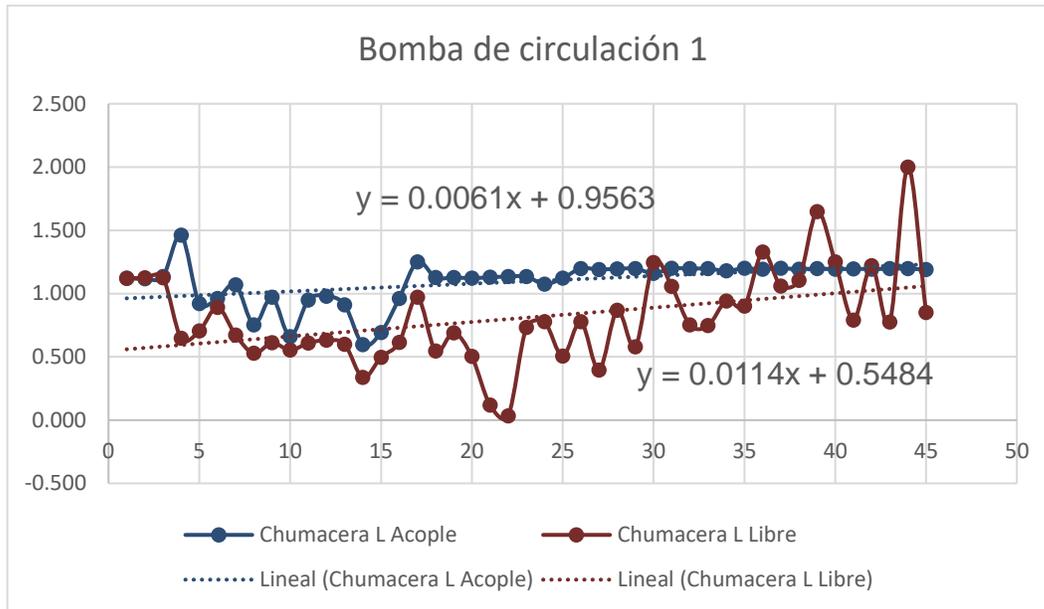
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla XIII. **Valores de vibración bomba de circulación 1**

| <b>Valores de vibración bomba de circulación 1</b> |                           |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                        |                           |                          |
| <b>Semana</b>                                      | <b>Chumacera L Acople</b> | <b>Chumacera L Libre</b> |
| 1  | 1,122                     | 1,119                    |
| 2  | 1,117                     | 1,124                    |
| 3  | 1,136                     | 1,125                    |
| 4  | 1,462                     | 0,646                    |
| 5  | 0,922                     | 0,705                    |
| 6  | 0,962                     | 0,891                    |
| 7  | 1,068                     | 0,671                    |
| 8  | 0,753                     | 0,527                    |
| 9  | 0,971                     | 0,611                    |
| 10   | 0,659                     | 0,553                    |
| 11   | 0,949                     | 0,609                    |
| 12   | 0,980                     | 0,632                    |
| 13   | 0,910                     | 0,598                    |
| 14   | 0,597                     | 0,336                    |
| 15   | 0,692                     | 0,497                    |
| 16   | 0,962                     | 0,614                    |
| 17   | 1,250                     | 0,972                    |
| 18   | 1,127                     | 0,546                    |
| 19   | 1,127                     | 0,690                    |
| 20   | 1,122                     | 0,503                    |
| 21   | 1,129                     | 0,118                    |
| 22   | 1,135                     | 0,033                    |
| 23   | 1,135                     | 0,732                    |
| 24   | 1,074                     | 0,777                    |
| 25   | 1,122                     | 0,506                    |
| 26   | 1,198                     | 0,778                    |
| 27   | 1,190                     | 0,395                    |
| 28   | 1,196                     | 0,867                    |
| 29   | 1,197                     | 0,580                    |
| 30   | 1,160                     | 1,245                    |
| 31   | 1,199                     | 1,058                    |
| 32   | 1,197                     | 0,753                    |
| 33   | 1,197                     | 0,746                    |
| 34   | 1,180                     | 0,942                    |
| 35   | 1,199                     | 0,900                    |
| 36   | 1,192                     | 1,327                    |
| 37   | 1,199                     | 1,059                    |
| 38   | 1,193                     | 1,105                    |
| 39   | 1,197                     | 1,647                    |
| 40   | 1,192                     | 1,250                    |
| 41   | 1,196                     | 0,791                    |
| 42   | 1,193                     | 1,221                    |
| 43   | 1,196                     | 0,776                    |
| 44   | 1,197                     | 2,000                    |
| 45   | 1,189                     | 0,851                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 31. **Comportamiento de vibraciones en bomba de circulación 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de circulación 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0061 X + 0,9563$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0061 (90) + 0,9563 = 1,5053$$

1,5053 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0061 (135) + 0,9563 = 1,7798$$

1,7798 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0061 (180) + 0,9563 = 2,0543$$

2,0543 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en

condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de circulación 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0114 X + 0,5484$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0114 (90) + 0,5484 = 1,5744$$

1,5744 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0114 (135) + 0,5484 = 2,0874$$

2,0874 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0114 (180) + 0,5484 = 2,6004$$

2,6004 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que sí necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Mantenimiento ideal para la bomba de circulación 1 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

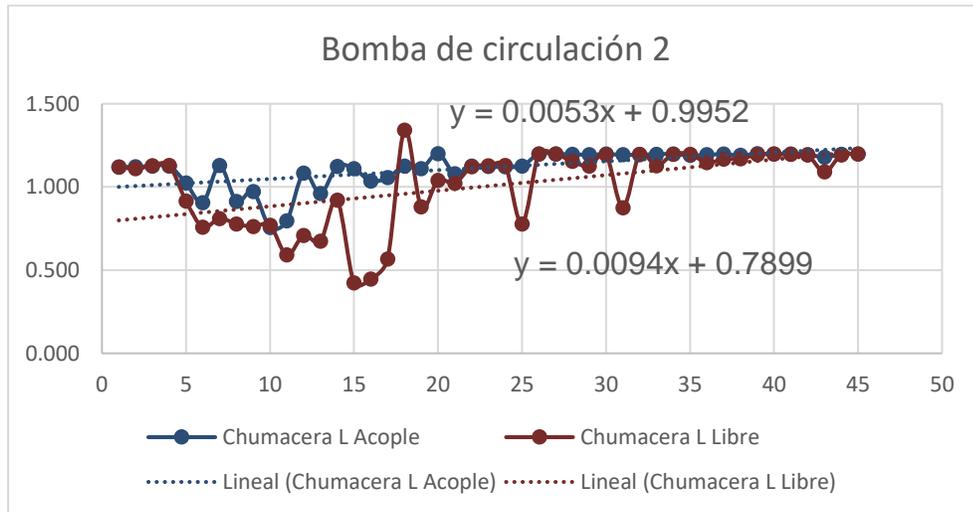
- Bomba de circulación 2

Tabla XIV. **Valores de vibración bomba de circulación 2**

| Valores de vibración bomba de circulación 2 |                      |                   |
|---|----------------------|-------------------|
| Semana                                      | Vibración global RMS |                   |
|   | Chumacera L Acople   | Chumacera L Libre |
| 1   | 1,120                | 1,120             |
| 2   | 1,121                | 1,110             |
| 3   | 1,126                | 1,127             |
| 4   | 1,126                | 1,129             |
| 5   | 1,024                | 0,915             |
| 6   | 0,905                | 0,759             |
| 7   | 1,129                | 0,810             |
| 8   | 0,914                | 0,778             |
| 9   | 0,972                | 0,761             |
| 10  | 0,757                | 0,769             |
| 11  | 0,796                | 0,591             |
| 12  | 1,084                | 0,709             |
| 13  | 0,961                | 0,674             |
| 14  | 1,124                | 0,920             |
| 15  | 1,111                | 0,424             |
| 16  | 1,035                | 0,447             |
| 17  | 1,057                | 0,566             |
| 18  | 1,125                | 1,341             |
| 19  | 1,110                | 0,881             |
| 20  | 1,200                | 1,040             |
| 21  | 1,080                | 1,023             |
| 22  | 1,125                | 1,122             |
| 23  | 1,124                | 1,126             |
| 24  | 1,121                | 1,128             |
| 25  | 1,126                | 0,777             |
| 26  | 1,198                | 1,198             |
| 27  | 1,199                | 1,197             |
| 28  | 1,196                | 1,154             |
| 29  | 1,194                | 1,125             |
| 30  | 1,197                | 1,194             |
| 31  | 1,193                | 0,875             |
| 32  | 1,195                | 1,197             |
| 33  | 1,197                | 1,128             |
| 34  | 1,198                | 1,197             |
| 35  | 1,190                | 1,197             |
| 36  | 1,193                | 1,147             |
| 37  | 1,197                | 1,168             |
| 38  | 1,190                | 1,169             |
| 39  | 1,199                | 1,195             |
| 40  | 1,197                | 1,197             |
| 41  | 1,198                | 1,195             |
| 42  | 1,195                | 1,192             |
| 43  | 1,178                | 1,090             |
| 44  | 1,196                | 1,192             |
| 45  | 1,198                | 1,198             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 32. **Comportamiento de vibraciones en bomba de circulación 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de circulación 2 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable  $x$  serán semanas y la variable  $y$  serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0053 X + 0,9952$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0053 X + 0,9952 = 1,4722$$

1,4722 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0053 (135) + 0,9952 = 1,7107$$

1,7107 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0053 (180) + 0,9952 = 1,9492$$

1,9492 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se

pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de circulación 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre logramos formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0094 X + 0,7899$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0094 (90) + 0,7899 = 1,6359$$

1,6359 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0094 (135) + 0,7899 = 2,0589$$

2,0589 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0094 (180) + 0,7899 = 2,4819$$

2,4819 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Mantenimiento ideal para la bomba de circulación 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

- Valores de vibraciones para bombas de condensado
  - Bomba de condensado 1

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 150 HP, velocidad de 1 785 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 2,8, rango de vibración con alarma de 2,8 – 4,5 y un rango crítico de vibración de 4,5 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en la bomba de condensado 1.

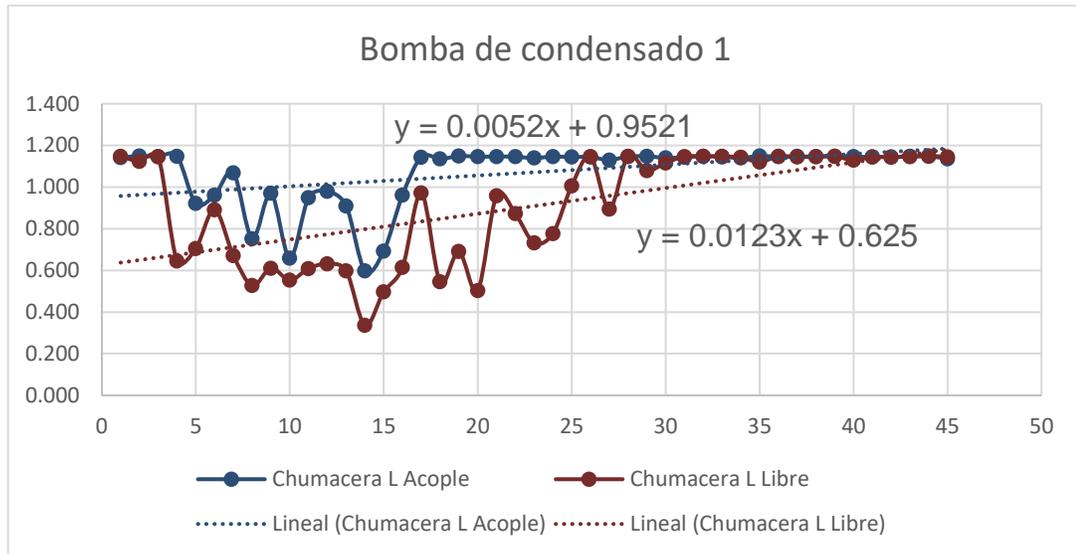
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla XV. **Valores de vibración bomba de condensado 1**

| <b>Valores de vibración bomba de condensado 1</b> |                           |                          |
|---|---------------------------|--------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                       |                           |                          |
| <b>Semana</b>                                     | <b>Chumacera L Acople</b> | <b>Chumacera L Libre</b> |
| 1   | 1,143                     | 1,148                    |
| 2   | 1,149                     | 1,124                    |
| 3   | 1,147                     | 1,146                    |
| 4   | 1,147                     | 0,646                    |
| 5   | 0,922                     | 0,705                    |
| 6   | 0,962                     | 0,891                    |
| 7   | 1,068                     | 0,671                    |
| 8   | 0,753                     | 0,527                    |
| 9   | 0,971                     | 0,611                    |
| 10  | 0,659                     | 0,553                    |
| 11  | 0,949                     | 0,609                    |
| 12  | 0,980                     | 0,632                    |
| 13  | 0,910                     | 0,598                    |
| 14  | 0,597                     | 0,336                    |
| 15  | 0,692                     | 0,497                    |
| 16  | 0,962                     | 0,614                    |
| 17  | 1,144                     | 0,972                    |
| 18  | 1,135                     | 0,546                    |
| 19  | 1,149                     | 0,690                    |
| 20  | 1,146                     | 0,503                    |
| 21  | 1,147                     | 0,958                    |
| 22  | 1,146                     | 0,873                    |
| 23  | 1,140                     | 0,732                    |
| 24  | 1,146                     | 0,777                    |
| 25  | 1,145                     | 1,006                    |
| 26  | 1,144                     | 1,146                    |
| 27  | 1,130                     | 0,895                    |
| 28  | 1,147                     | 1,148                    |
| 29  | 1,148                     | 1,080                    |
| 30  | 1,140                     | 1,117                    |
| 31  | 1,144                     | 1,147                    |
| 32  | 1,148                     | 1,148                    |
| 33  | 1,146                     | 1,147                    |
| 34  | 1,140                     | 1,143                    |
| 35  | 1,149                     | 1,120                    |
| 36  | 1,146                     | 1,148                    |
| 37  | 1,147                     | 1,144                    |
| 38  | 1,146                     | 1,146                    |
| 39  | 1,148                     | 1,148                    |
| 40  | 1,146                     | 1,130                    |
| 41  | 1,145                     | 1,145                    |
| 42  | 1,144                     | 1,144                    |
| 43  | 1,147                     | 1,147                    |
| 44  | 1,148                     | 1,149                    |
| 45  | 1,136                     | 1,145                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 33. **Comportamiento de vibraciones en bomba de condensado 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de condensado 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0052 X + 0,9521$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0052 (90) + 0,9521 = 1,4201$$

1,4201 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0052 (135) + 0,9521 = 1,6541$$

1,6541 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0052 (180) + 0,9521 = 1,8881$$

1,8881 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en

condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de condensado 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0123 X + 0,625$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0123 (90) + 0,625 = 1,7320$$

1,7320 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0123 (135) + 0,625 = 2,2855$$

2,2855 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0123 (180) + 0,625 = 2,8390$$

2,8390 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de condensado 1 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

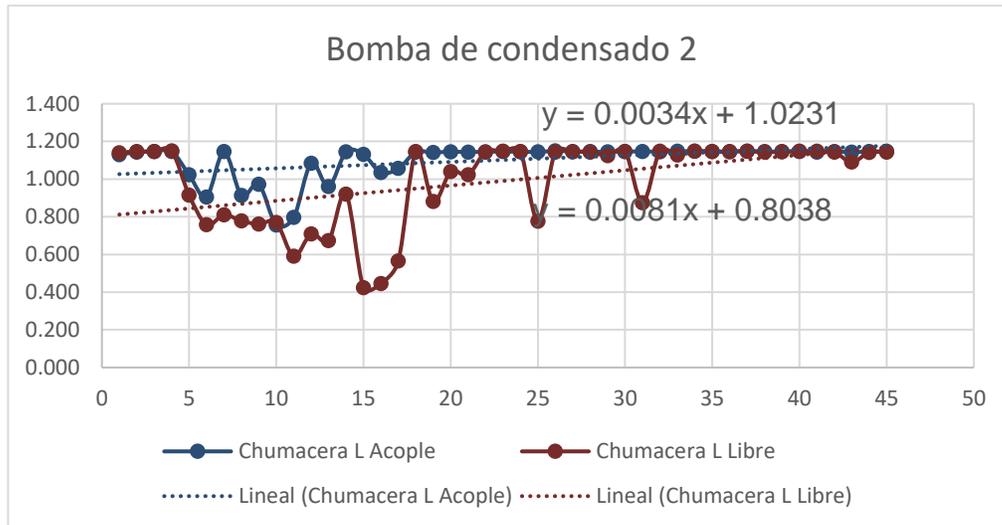
- Bomba de condensado 2

Tabla XVI. **Valores de vibración bomba de condensado 2**

| Valores de vibración bomba de condensado 2 |                    |                   |
|--|--------------------|-------------------|
| Vibración global RMS                       |                    |                   |
| Semana                                     | Chumacera L Acople | Chumacera L Libre |
| 1  | 1,130              | 1,141             |
| 2  | 1,143              | 1,147             |
| 3  | 1,146              | 1,147             |
| 4  | 1,147              | 1,149             |
| 5  | 1,024              | 0,915             |
| 6  | 0,905              | 0,759             |
| 7  | 1,147              | 0,810             |
| 8  | 0,914              | 0,778             |
| 9  | 0,972              | 0,761             |
| 10   | 0,757              | 0,769             |
| 11   | 0,796              | 0,591             |
| 12   | 1,084              | 0,709             |
| 13   | 0,961              | 0,674             |
| 14   | 1,145              | 0,920             |
| 15   | 1,131              | 0,424             |
| 16   | 1,035              | 0,447             |
| 17   | 1,057              | 0,566             |
| 18   | 1,143              | 1,146             |
| 19   | 1,142              | 0,881             |
| 20   | 1,145              | 1,040             |
| 21   | 1,144              | 1,023             |
| 22   | 1,145              | 1,144             |
| 23   | 1,146              | 1,148             |
| 24   | 1,145              | 1,147             |
| 25   | 1,145              | 0,777             |
| 26   | 1,149              | 1,144             |
| 27   | 1,147              | 1,145             |
| 28   | 1,146              | 1,144             |
| 29   | 1,145              | 1,125             |
| 30   | 1,146              | 1,148             |
| 31   | 1,147              | 0,875             |
| 32   | 1,146              | 1,148             |
| 33   | 1,148              | 1,128             |
| 34   | 1,148              | 1,148             |
| 35   | 1,146              | 1,147             |
| 36   | 1,145              | 1,147             |
| 37   | 1,149              | 1,149             |
| 38   | 1,146              | 1,144             |
| 39   | 1,146              | 1,145             |
| 40   | 1,147              | 1,149             |
| 41   | 1,143              | 1,148             |
| 42   | 1,146              | 1,144             |
| 43   | 1,144              | 1,090             |
| 44   | 1,146              | 1,142             |
| 45   | 1,148              | 1,144             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 34. **Comportamiento de vibraciones en bomba de condensado 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de condensado 2 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0034 X + 1,0231$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0034 (90) + 1,0231 = 1,3291$$

1,3291 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0034 (135) + 1,0231 = 1,4821$$

1,4821 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0034 (180) + 1,0231 = 1,6351$$

1,6351 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en

condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de condensado 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar nuestros valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0081 X + 0,8038$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0081 (90) + 0,8038 = 1,5328$$

1,5328 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0081 (135) + 0,8038 = 1,8973$$

1,8973 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0081 (180) + 0,8038 = 2,2618$$

2,2618 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Mantenimiento ideal para la bomba de lubricación 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

- Valores de vibraciones para bombas de enfriamiento
  - Bomba de enfriamiento 1

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 50 HP, velocidad de 1 775 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 2,8, rango de vibración con alarma de 2,8 – 4,5 y un rango crítico de vibración de 4.5 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en la bomba de enfriamiento 1.

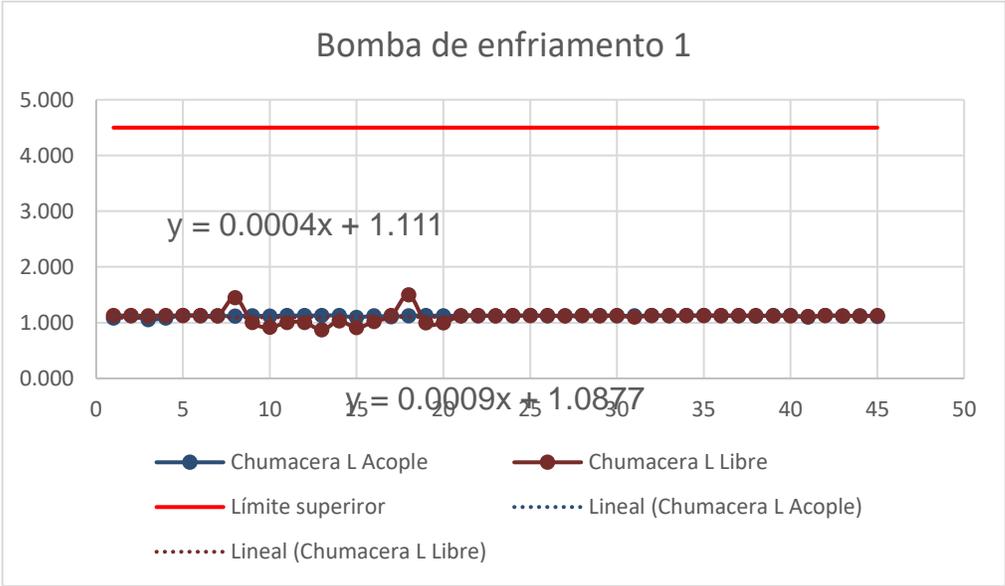
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla XVII. **Valores de vibración bomba de enfriamiento 1**

| Valores de vibración bomba enfriamiento 1 |                  |                   |
|---|------------------|-------------------|
| Vibración global RMS                      |                  |                   |
| Semana                                    | Chumacera Acople | Chumacera L Libre |
| 1   | 1,082            | 1,128             |
| 2   | 1,125            | 1,126             |
| 3   | 1,052            | 1,126             |
| 4   | 1,084            | 1,129             |
| 5   | 1,128            | 1,128             |
| 6   | 1,126            | 1,129             |
| 7   | 1,121            | 1,124             |
| 8   | 1,120            | 1,450             |
| 9   | 1,126            | 1,006             |
| 10  | 1,119            | 0,917             |
| 11  | 1,128            | 1,006             |
| 12  | 1,127            | 1,006             |
| 13  | 1,129            | 0,871             |
| 14  | 1,128            | 1,030             |
| 15  | 1,093            | 0,910             |
| 16  | 1,124            | 1,020             |
| 17  | 1,105            | 1,126             |
| 18  | 1,126            | 1,500             |
| 19  | 1,127            | 1,000             |
| 20  | 1,123            | 1,000             |
| 21  | 1,126            | 1,125             |
| 22  | 1,122            | 1,128             |
| 23  | 1,126            | 1,126             |
| 24  | 1,124            | 1,127             |
| 25  | 1,129            | 1,128             |
| 26  | 1,122            | 1,127             |
| 27  | 1,126            | 1,125             |
| 28  | 1,128            | 1,127             |
| 29  | 1,128            | 1,126             |
| 30  | 1,126            | 1,127             |
| 31  | 1,123            | 1,100             |
| 32  | 1,128            | 1,127             |
| 33  | 1,124            | 1,129             |
| 34  | 1,127            | 1,127             |
| 35  | 1,129            | 1,129             |
| 36  | 1,126            | 1,129             |
| 37  | 1,124            | 1,128             |
| 38  | 1,120            | 1,129             |
| 39  | 1,129            | 1,122             |
| 40  | 1,129            | 1,125             |
| 41  | 1,100            | 1,110             |
| 42  | 1,128            | 1,129             |
| 43  | 1,120            | 1,126             |
| 44  | 1,126            | 1,120             |
| 45  | 1,110            | 1,128             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 35. **Comportamiento de vibraciones en bomba de enfriamiento 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de enfriamiento 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0004 X + 1,111$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0004 (90) + 1,111 = 1,147$$

1,147 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0004 (135) + 1,111 = 1,165$$

1,165 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0004 (180) + 1,111 = 1,183$$

1,183 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en

condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de enfriamiento 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0009 X + 1,0877$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0009 (90) + 1,0877 = 1,1687$$

1,1687 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0009 (135) + 1,0877 = 1,2092$$

1,2092 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0009 (180) + 1,0877 = 1,2497$$

1,2497 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener en equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de enfriamiento 1 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

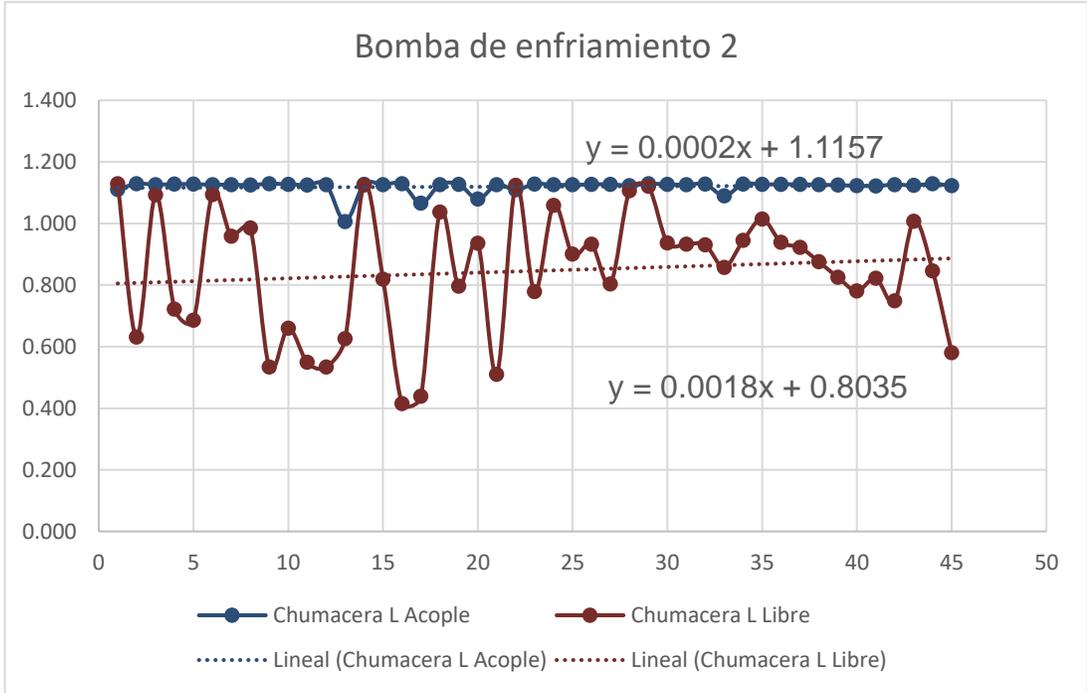
- Bomba de enfriamiento 2

Tabla XVIII. **Valores de vibración bomba de enfriamiento 2**

| Valores de vibración bomba enfriamiento 2 |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| Vibración global                          |                    |                   |
| RMS                                       |                    |                   |
| Semana                                    | Chumacera L Acople | Chumacera L Libre |
| 1   | 1,110              | 1,129             |
| 2   | 1,129              | 0,631             |
| 3   | 1,126              | 1,092             |
| 4   | 1,128              | 0,722             |
| 5   | 1,128              | 0,685             |
| 6   | 1,126              | 1,094             |
| 7   | 1,126              | 0,959             |
| 8   | 1,125              | 0,986             |
| 9   | 1,129              | 0,534             |
| 10  | 1,127              | 0,660             |
| 11  | 1,125              | 0,549             |
| 12  | 1,126              | 0,534             |
| 13  | 1,006              | 0,626             |
| 14  | 1,127              | 1,125             |
| 15  | 1,126              | 0,819             |
| 16  | 1,29               | 0,415             |
| 17  | 1,66               | 0,438             |
| 18  | 1,26               | 1,037             |
| 19  | 1,127              | 0,797             |
| 20  | 1,080              | 0,936             |
| 21  | 1,126              | 0,510             |
| 22  | 1,110              | 1,124             |
| 23  | 1,129              | 0,779             |
| 24  | 1,126              | 1,059             |
| 25  | 1,126              | 0,900             |
| 26  | 1,127              | 0,932             |
| 27  | 1,128              | 0,804             |
| 28  | 1,123              | 1,107             |
| 29  | 1,129              | 1,121             |
| 30  | 1,127              | 0,937             |
| 31  | 1,126              | 0,933             |
| 32  | 1,128              | 0,931             |
| 33  | 1,090              | 0,858             |
| 34  | 1,128              | 0,945             |
| 35  | 1,127              | 1,015             |
| 36  | 1,127              | 0,939             |
| 37  | 1,128              | 0,922             |
| 38  | 1,126              | 0,876             |
| 39  | 1,125              | 0,825             |
| 40  | 1,123              | 0,781             |
| 41  | 1,122              | 0,822             |
| 42  | 1,127              | 0,749             |
| 43  | 1,124              | 1,007             |
| 44  | 1,129              | 0,846             |
| 45  | 1,123              | 0,581             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 36. Comportamiento de vibraciones en bomba de enfriamiento 2



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de enfriamiento 2 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0002 X + 1,1157$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0002 (90) + 1,1157 = 1,1337$$

1,1337 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0002 (135) + 1,1157 = 1,1427$$

1.1427 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0002 (180) + 1,1157 = 1,1517$$

1,1517 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se

pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de enfriamiento 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0018 X + 0,8035$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0018 (90) + 0,8035 = 0,9655$$

0,9655 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0018 (135) + 0,8035 = 1,0465$$

1,0465 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0018 (180) + 0,8035 = 1,1275$$

1,1275 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo de nuestro rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener en equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de enfriamiento 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

- Valores de vibraciones para bombas de vacío
  - Bomba de vacío 1

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 40 HP, velocidad de 1 170 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 2,8, rango de vibración con alarma de 2,8 – 4,5 y un rango crítico de vibración de 4,5 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en la bomba de vacío 1.

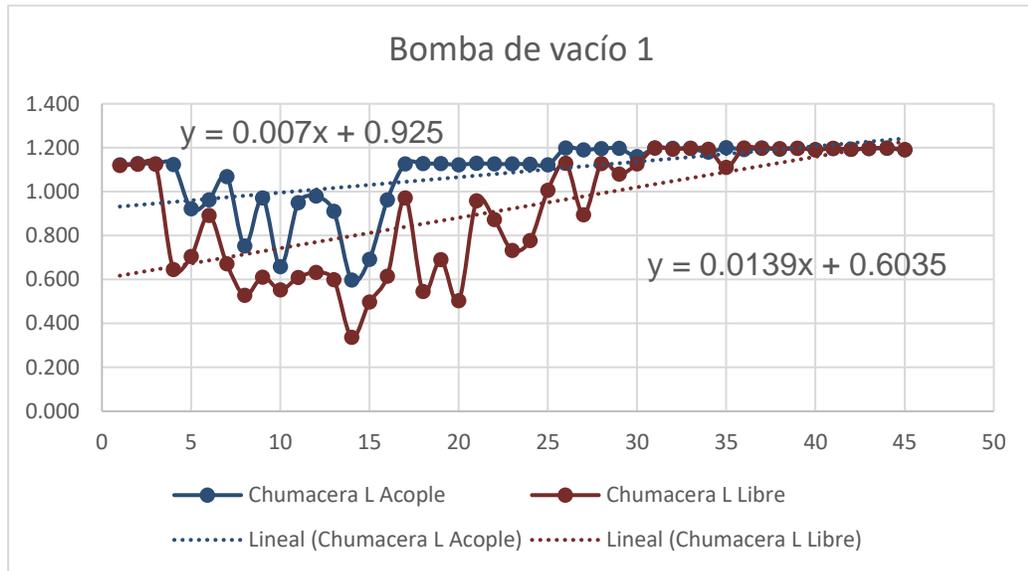
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla XIX. **Valores de vibración bomba de vacío 1**

| <b>Valores de vibración bomba de vacío 1</b> |                           |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                  |                           |                          |
| <b>Semana</b>                                | <b>Chumacera L Acople</b> | <b>Chumacera L Libre</b> |
| 1  | 1.122                     | 1.119                    |
| 2  | 1.128                     | 1.124                    |
| 3  | 1.127                     | 1.125                    |
| 4  | 1.123                     | 0.646                    |
| 5  | 0.922                     | 0.705                    |
| 6  | 0.962                     | 0.891                    |
| 7  | 1.068                     | 0.671                    |
| 8  | 0.753                     | 0.527                    |
| 9  | 0.971                     | 0.611                    |
| 10   | 0.659                     | 0.553                    |
| 11   | 0.949                     | 0.609                    |
| 12   | 0.980                     | 0.632                    |
| 13   | 0.910                     | 0.598                    |
| 14   | 0.597                     | 0.336                    |
| 15   | 0.692                     | 0.497                    |
| 16   | 0.962                     | 0.614                    |
| 17   | 1.126                     | 0.972                    |
| 18   | 1.127                     | 0.546                    |
| 19   | 1.127                     | 0.690                    |
| 20   | 1.122                     | 0.503                    |
| 21   | 1.129                     | 0.958                    |
| 22   | 1.126                     | 0.873                    |
| 23   | 1.126                     | 0.732                    |
| 24   | 1.125                     | 0.777                    |
| 25   | 1.122                     | 1.006                    |
| 26   | 1.198                     | 1.129                    |
| 27   | 1.190                     | 0.895                    |
| 28   | 1.196                     | 1.128                    |
| 29   | 1.197                     | 1.080                    |
| 30   | 1.160                     | 1.126                    |
| 31   | 1.199                     | 1.199                    |
| 32   | 1.197                     | 1.194                    |
| 33   | 1.197                     | 1.197                    |
| 34   | 1.180                     | 1.193                    |
| 35   | 1.199                     | 1.110                    |
| 36   | 1.192                     | 1.198                    |
| 37   | 1.199                     | 1.197                    |
| 38   | 1.193                     | 1.196                    |
| 39   | 1.197                     | 1.198                    |
| 40   | 1.192                     | 1.191                    |
| 41   | 1.196                     | 1.198                    |
| 42   | 1.193                     | 1.192                    |
| 43   | 1.196                     | 1.197                    |
| 44   | 1.197                     | 1.199                    |
| 45   | 1.189                     | 1.192                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 37. **Comportamiento de vibraciones en bomba de vacío 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de vacío 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,007 X + 0,925$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,007 (90) + 0,925 = 1.555$$

1,555 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,007 (135) + 0,925 = 1,87$$

1,87 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,007 (180) + 0,925 = 2,185$$

2,185 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Mantenimiento ideal para la bomba de vacío 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0139 X + 0,6035$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0139 (90) + 0,6035 = 1,8545$$

1,8545 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

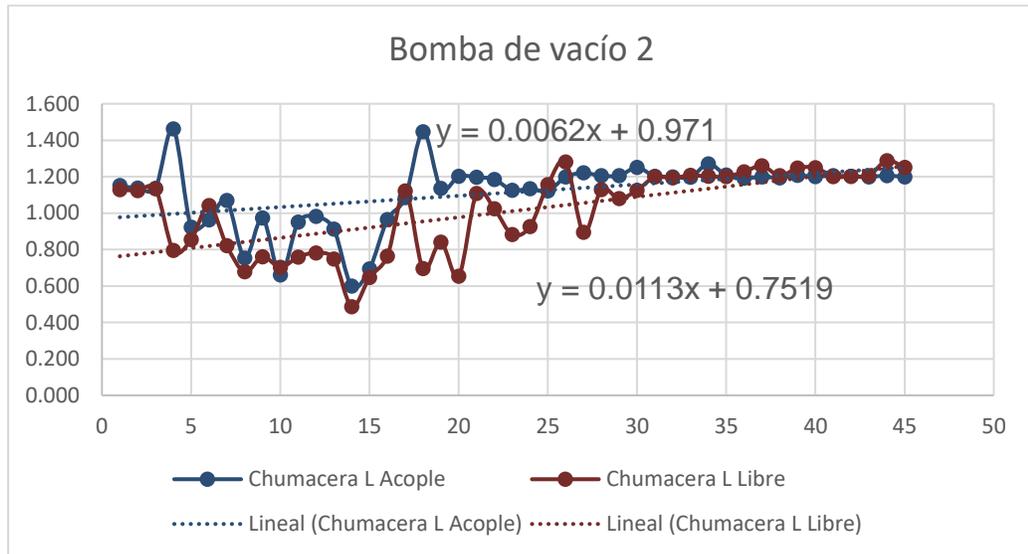
2,48 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5, y lo ideal sería revisar el equipo para obtener una respuesta del porque no mantuvo los rangos de vibraciones para intervenir el equipo en la semana 180.

Tabla XX. **Valores de vibración bomba de vacío 2**

| <b>Valores de vibración bomba de vacío 2</b> |                           |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|
| <b>Vibración global RMS</b>                  |                           |                          |
| <b>Semana</b>                                | <b>Chumacera L Acople</b> | <b>Chumacera L Libre</b> |
| 1  | 1,151                     | 1,129                    |
| 2  | 1,137                     | 1,124                    |
| 3  | 1,136                     | 1,134                    |
| 4  | 1,462                     | 0,796                    |
| 5  | 0,922                     | 0,855                    |
| 6  | 0,962                     | 1,041                    |
| 7  | 1,068                     | 0,821                    |
| 8  | 0,753                     | 0,677                    |
| 9  | 0,973                     | 0,761                    |
| 10   | 0,661                     | 0,703                    |
| 11   | 0,951                     | 0,759                    |
| 12   | 0,982                     | 0,782                    |
| 13   | 0,912                     | 0,748                    |
| 14   | 0,599                     | 0,486                    |
| 15   | 0,694                     | 0,647                    |
| 16   | 0,964                     | 0,764                    |
| 17   | 1,085                     | 1,122                    |
| 18   | 1,446                     | 0,696                    |
| 19   | 1,136                     | 0,840                    |
| 20   | 1,201                     | 0,653                    |
| 21   | 1,198                     | 1,108                    |
| 22   | 1,185                     | 1,023                    |
| 23   | 1,126                     | 0,882                    |
| 24   | 1,134                     | 0,927                    |
| 25   | 1,122                     | 1,156                    |
| 26   | 1,198                     | 1,280                    |
| 27   | 1,220                     | 0,895                    |
| 28   | 1,205                     | 1,128                    |
| 29   | 1,206                     | 1,080                    |
| 30   | 1,250                     | 1,126                    |
| 31   | 1,202                     | 1,199                    |
| 32   | 1,199                     | 1,194                    |
| 33   | 1,198                     | 1,206                    |
| 34   | 1,270                     | 1,202                    |
| 35   | 1,208                     | 1,200                    |
| 36   | 1,192                     | 1,227                    |
| 37   | 1,199                     | 1,259                    |
| 38   | 1,193                     | 1,205                    |
| 39   | 1,206                     | 1,247                    |
| 40   | 1,201                     | 1,250                    |
| 41   | 1,205                     | 1,201                    |
| 42   | 1,202                     | 1,201                    |
| 43   | 1,199                     | 1,206                    |
| 44   | 1,206                     | 1,288                    |
| 45   | 1,198                     | 1,251                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 38. **Comportamiento de vibraciones en bomba de vacío 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de vacío 2 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0062 X + 0,971$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0062 (90) + 0,971 = 1,529$$

1,529 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0062 (135) + 0,971 = 1,808$$

1,808 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0062 (180) + 0,971 = 2,087$$

2,087 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Mantenimiento ideal para la bomba de vacío 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0113 X + 0,7519$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0113 (90) + 0,7519 = 1,7689$$

1,7689 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indicaría que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2.8 - 4.5.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0113 (135) + 0,7519 = 2,2774$$

2,2774 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0113 (180) + 0,7519 = 2,7859$$

2,7859 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 2,8 – 4,5.

Mantenimiento ideal para la bomba de vacío 2 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

- Valores de vibraciones para bombas de ventiladores de torres de enfriamiento
  - Bomba de ventilador de torre de enfriamiento 1

A continuación, se presentan los valores de vibración de la semana 1 a semana 45, proporcionados por el encargado de mantenimiento mecánico para poder realizar su respectivo análisis de vibraciones como método de monitoreo.

Recordando que tiene una potencia de 150 HP, velocidad de 1 770 RPM, un rango de vibración aceptable de 0 – 4,5, rango de vibración con alarma de 4,5 – 7,1 y un rango crítico de vibración de 7.1 o mayor.

Esto se monitoreo por 45 semanas para tomar como base y poder proyectar el análisis de vibraciones en la bomba de lubricación 1.

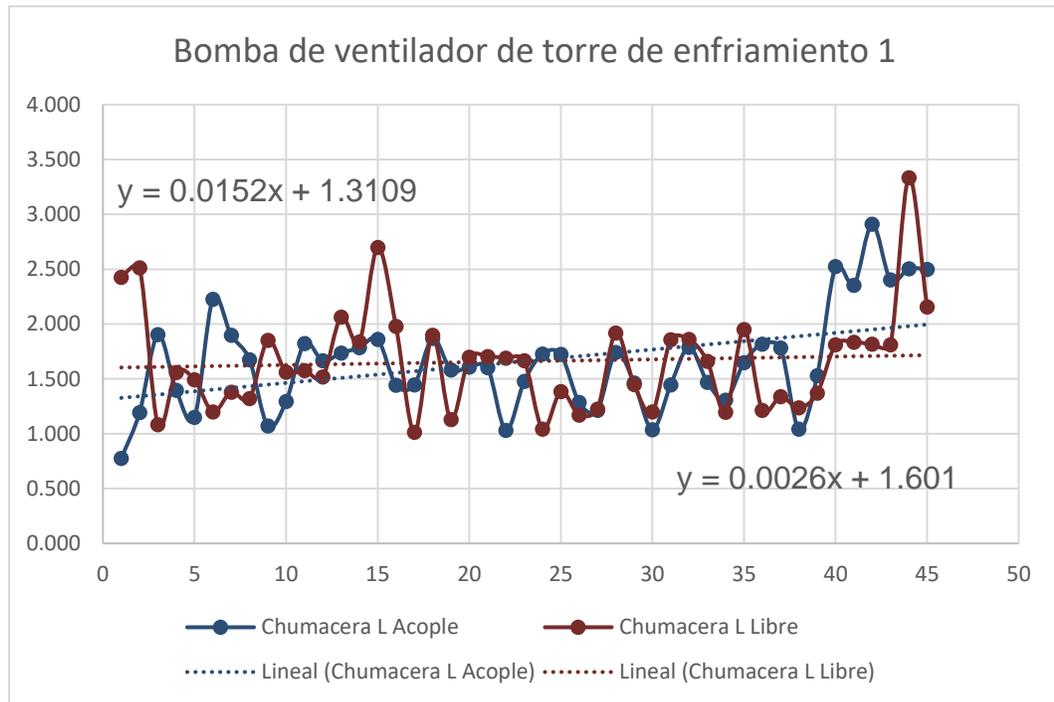
Este estudio se realizó utilizando el método de regresión lineal tomando como base los datos recopilados en campo.

Tabla XXI. **Valores de vibración bomba de ventilador torre enfriamiento 1**

| Valores de vibración de bomba |                    |                   |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| Vibración global RMS          |                    |                   |
| Semana                        | Chumacera L Acople | Chumacera L Libre |
| 1                             | 0,775              | 2,426             |
| 2                             | 1,195              | 2,513             |
| 3                             | 1,903              | 1,084             |
| 4                             | 1,396              | 1,558             |
| 5                             | 1,149              | 1,491             |
| 6                             | 2,227              | 1,200             |
| 7                             | 1,898              | 1,380             |
| 8                             | 1,675              | 1,320             |
| 9                             | 1,072              | 1,851             |
| 10                            | 1,295              | 1,561             |
| 11                            | 1,823              | 1,578             |
| 12                            | 1,666              | 1,517             |
| 13                            | 1,735              | 2,062             |
| 14                            | 1,784              | 1,837             |
| 15                            | 1,862              | 2,698             |
| 16                            | 1,444              | 1,978             |
| 17                            | 1,445              | 1,012             |
| 18                            | 1,869              | 1,897             |
| 19                            | 1,582              | 1,129             |
| 20                            | 1,610              | 1,698             |
| 21                            | 1,603              | 1,705             |
| 22                            | 1,032              | 1,690             |
| 23                            | 1,477              | 1,667             |
| 24                            | 1,728              | 1,044             |
| 25                            | 1,723              | 1,384             |
| 26                            | 1,286              | 1,169             |
| 27                            | 1,214              | 1,225             |
| 28                            | 1,741              | 1,918             |
| 29                            | 1,463              | 1,448             |
| 30                            | 1,038              | 1,200             |
| 31                            | 1,445              | 1,858             |
| 32                            | 1,788              | 1,860             |
| 33                            | 1,470              | 1,660             |
| 34                            | 1,307              | 1,197             |
| 35                            | 1,648              | 1,951             |
| 36                            | 1,818              | 1,215             |
| 37                            | 1,783              | 1,338             |
| 38                            | 1,042              | 1,236             |
| 39                            | 1,530              | 1,369             |
| 40                            | 2,524              | 1,811             |
| 41                            | 2,353              | 1,835             |
| 42                            | 2,912              | 1,816             |
| 43                            | 2,403              | 1,811             |
| 44                            | 2,04               | 3,334             |
| 45                            | 2,00               | 2,155             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 39. **Comportamiento de vibraciones en bomba de ventilador de torre de enfriamiento 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 1 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0152 X + 1,3109$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0152 (90) + 1,3109 = 2,6789$$

2,6789 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0152 (135) + 1,3109 = 3,3629$$

3,3629 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0152 (180) + 1,3109 = 4,0469$$

4,0469 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Mantenimiento ideal para la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 1 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0026 X + 1,601$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0026 (90) + 1,601 = 1,835$$

1,835 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0026 (135) + 1,601 = 1,952$$

1,952 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0026 (180) + 1,601 = 2,069$$

2,069 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo de nuestro rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así se mantiene el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 1 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

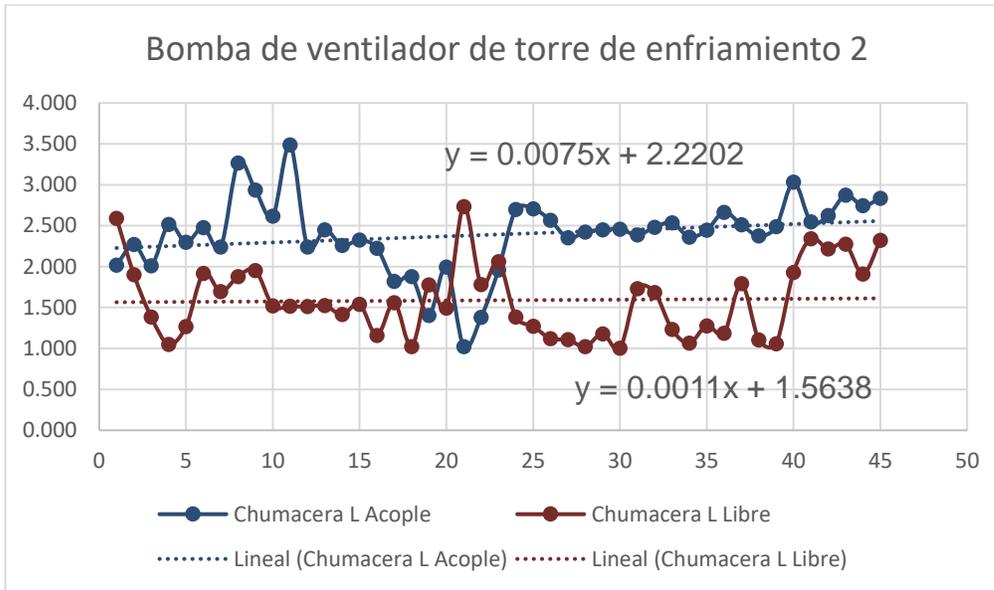
- Bomba de ventilador de torre de enfriamiento 2

Tabla XXII. **Valores de vibración bomba torre de enfriamiento 2**

| Valores de vibración |                    |                   |
|----------------------|--------------------|-------------------|
| Vibración global RMS |                    |                   |
| Semana               | Chumacera L Acople | Chumacera L Libre |
| 1                    | 2,020              | 2,590             |
| 2                    | 2,271              | 1,904             |
| 3                    | 2,012              | 1,383             |
| 4                    | 2,517              | 1,051             |
| 5                    | 2,297              | 1,268             |
| 6                    | 2,477              | 1,917             |
| 7                    | 2,239              | 1,695             |
| 8                    | 3,269              | 1,879             |
| 9                    | 2,935              | 1,953             |
| 10                   | 2,616              | 1,523             |
| 11                   | 3,488              | 1,517             |
| 12                   | 2,239              | 1,512             |
| 13                   | 2,452              | 1,524             |
| 14                   | 2,258              | 1,415             |
| 15                   | 2,324              | 1,542             |
| 16                   | 2,227              | 1,159             |
| 17                   | 1,822              | 1,560             |
| 18                   | 1,878              | 1,023             |
| 19                   | 1,403              | 1,777             |
| 20                   | 1,994              | 1,492             |
| 21                   | 1,025              | 2,735             |
| 22                   | 1,380              | 1,783             |
| 23                   | 1,961              | 2,061             |
| 24                   | 2,699              | 1,385             |
| 25                   | 2,709              | 1,271             |
| 26                   | 2,565              | 1,120             |
| 27                   | 2,351              | 1,108             |
| 28                   | 2,424              | 1,022             |
| 29                   | 2,451              | 1,180             |
| 30                   | 2,458              | 1,003             |
| 31                   | 2,387              | 1,730             |
| 32                   | 2,481              | 1,684             |
| 33                   | 2,537              | 1,232             |
| 34                   | 2,363              | 1,068             |
| 35                   | 2,447              | 1,277             |
| 36                   | 2,665              | 1,188             |
| 37                   | 2,511              | 1,792             |
| 38                   | 2,376              | 1,106             |
| 39                   | 2,490              | 1,060             |
| 40                   | 3,032              | 1,930             |
| 41                   | 2,547              | 2,340             |
| 42                   | 2,625              | 2,217             |
| 43                   | 2,872              | 2,277             |
| 44                   | 2,744              | 1,908             |
| 45                   | 2,835              | 2,324             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 40. **Comportamiento de vibraciones en bomba de ventilador de torre de enfriamiento 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 2 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0075 X + 2,2202$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0075 (90) + 2,2202 = 2,8952$$

2,8952 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4.5 – 7.1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0075 (135) + 2,2202 = 3,2327$$

3,2327 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0075 (180) + 2,2202 = 3,5702$$

1,4273 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se

pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 2 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0011 X + 1,5638$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0011 (90) + 1,5638 = 1,6628$$

1,6628 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0011 (135) + 1,5638 = 1,7123$$

1,7123 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0011 (180) + 1,5638 = 1,7618$$

1,7618 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 2 para chumacera lado libre, semana 180.

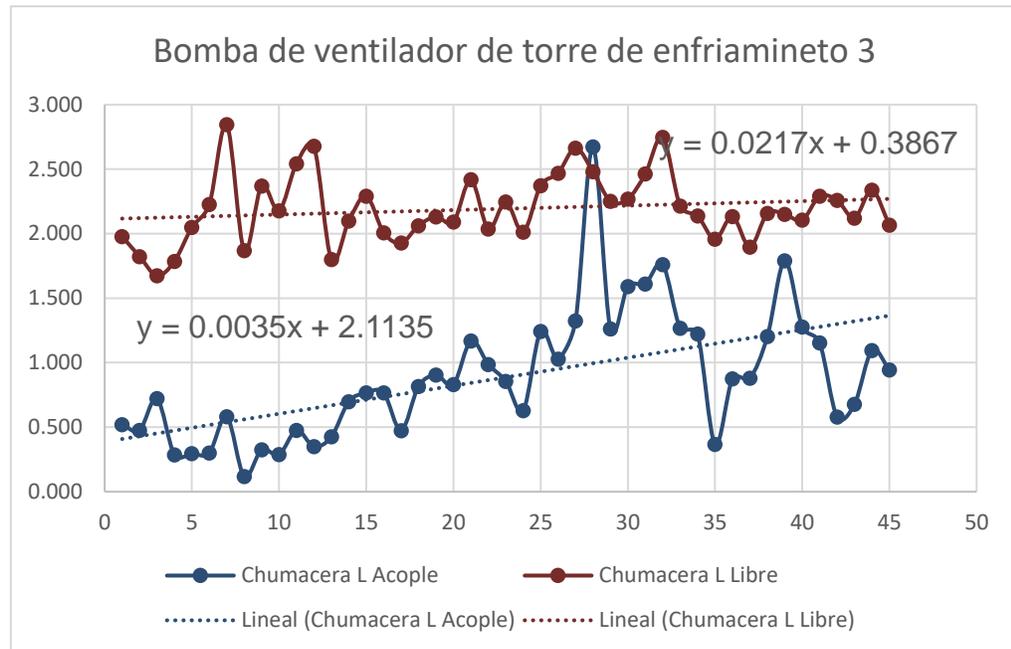
Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

Tabla XXIII. **Valores de vibración ventilador torre de enfriamiento 3**

| Valores de vibración ventilador de torre de enfriamiento 3 |                  |                   |
|--|------------------|-------------------|
| Vibración global RMS                                       |                  |                   |
| Semana   | Chumacera Acople | Chumacera L Libre |
| 1  | 0,521            | 1,978             |
| 2  | 0,475            | 1,823             |
| 3  | 0,721            | 1,675             |
| 4  | 0,286            | 1,786             |
| 5  | 0,295            | 2,050             |
| 6  | 0,302            | 2,227             |
| 7  | 0,583            | 2,845             |
| 8  | 0,118            | 1,870             |
| 9  | 0,325            | 2,371             |
| 10   | 0,287            | 2,178             |
| 11   | 0,476            | 2,543             |
| 12   | 0,351            | 2,678             |
| 13   | 0,426            | 1,799             |
| 14   | 0,698            | 2,099             |
| 15   | 0,766            | 2,292             |
| 16   | 0,766            | 2,008             |
| 17   | 0,474            | 1,928             |
| 18   | 0,817            | 2,063             |
| 19   | 0,905            | 2,131             |
| 20   | 0,831            | 2,091             |
| 21   | 1,169            | 2,419             |
| 22   | 0,987            | 2,038             |
| 23   | 0,856            | 2,247             |
| 24   | 0,630            | 2,012             |
| 25   | 1,242            | 2,372             |
| 26   | 1,029            | 2,468             |
| 27   | 1,323            | 2,662             |
| 28   | 2,672            | 2,482             |
| 29   | 1,263            | 2,252             |
| 30   | 1,592            | 2,269             |
| 31   | 1,611            | 2,463             |
| 32   | 1,761            | 2,747             |
| 33   | 1,269            | 2,216             |
| 34   | 1,223            | 2,139             |
| 35   | 0,367            | 1,957             |
| 36   | 0,876            | 2,133             |
| 37   | 0,879            | 1,897             |
| 38   | 1,202            | 2,157             |
| 39   | 1,791            | 2,150             |
| 40   | 1,278            | 2,106             |
| 41   | 1,154            | 2,290             |
| 42   | 0,579            | 2,259             |
| 43   | 0,678            | 2,122             |
| 44   | 1,095            | 2,337             |
| 45   | 0,943            | 2,067             |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 41. **Comportamiento de vibraciones en bomba de ventilador de torre de enfriamiento 3**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel Plus 2016.

Para este estudio se analizó lado acople y lado libre de la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 3 durante 45 semanas, con ayuda del método de regresión lineal y el programa Microsoft Excel se logró elaborar un modelo estadístico-matemático donde la variable x serán semanas y la variable y serán los valores de vibraciones.

Para la chumacera lado acople se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0217 X + 0,3867$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0217 (90) + 0,3867 = 2,3397$$

2,3397 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0217 (135) + 0,3867 = 3,3162$$

3,3162 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0217 (180) + 0,3867 = 4,2927$$

4,2927 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que si necesita mantenimiento porque está por llegar al rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Mantenimiento ideal para la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 3 para chumacera lado acople, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede aprovechar toda la vida útil de repuestos y materiales.

Para la chumacera lado libre se logró formular una ecuación para determinar los valores de vibración para los próximos periodos de mantenimiento que se aplicarían en la semana 90, semana 135 y semana 180 según así lo vaya indicando los valores de vibraciones.

$$Y = 0,0035 X + 2,1135$$

Donde:

Y: se refiere a vibraciones

X: se refiere a semanas

Sustituyendo para la semana 90,

$$Y = 0,0035 (90) + 2,1135 = 2,4285$$

2,4285 es el valor de vibración para la semana 90, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 135,

$$Y = 0,0035 (135) + 2,1135 = 2,586$$

2,586 es el valor de vibración para la semana 135, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo del rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1.

Sustituyendo para la semana 180,

$$Y = 0,0035 (180) + 2,1135 = 2,7435$$

2,7435 es el valor de vibración para la semana 180, lo que indica que no necesita mantenimiento porque está por debajo de nuestro rango de vibración de alarma que es 4,5 – 7,1, pero lo que se mencionaba con anterioridad lo ideal para esta propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones se pueda utilizar como máximo para la semana 180 así mantener el equipo en condiciones ideales y aprovechar todas las horas de trabajo para el equipo rotativo.

Mantenimiento ideal para la bomba de ventilador de torre de enfriamiento 3 para chumacera lado libre, semana 180.

Aplicando dicho mantenimiento en la semana 180 se puede conservar el equipo y aprovechar su vida útil al máximo.

- Resumen de tendencias en caldera Isgec, bloque 6

Figura 42. **Resumen de tendencias lineales en equipos rotativos, TBS**

| Equipo:        | Punto:      | Regresión lineal       | S90    | S135   | S180   | Valor Alarma |
|----------------|-------------|------------------------|--------|--------|--------|--------------|
| Lubricación 1  | Lado acople | $Y= 0.0032 X + 0.9713$ | 1.2593 | 1.4033 | 1.5473 | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0009 X + 0.4114$ | 0.4924 | 0.5329 | 0.5734 | 2.8          |
| Lubricación 2  | Lado acople | $Y= 0.0023 X + 1.0133$ | 1.2203 | 1.3238 | 1.4273 | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0009 X + 0.5014$ | 0.5824 | 0.6229 | 0.6634 | 2.8          |
| Circulación 1  | Lado acople | $Y= 0.0061 X + 0.9563$ | 1.5053 | 1.7798 | 2.0543 | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0114 X + 0.5484$ | 1.5744 | 2.0874 | 2.6004 | 2.8          |
| Circulación 2  | Lado acople | $Y= 0.0053 X + 0.9952$ | 1.4722 | 1.7107 | 1.9492 | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0094 X + 0.7899$ | 1.6359 | 2.0589 | 2.4819 | 2.8          |
| Condensado 1   | Lado acople | $Y= 0.0052 X + 0.9521$ | 1.4201 | 1.6541 | 1.8881 | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0123 X + 0.625$  | 1.732  | 2.2855 | 2.839  | 2.8          |
| Condensado 2   | Lado acople | $Y= 0.0034 X + 1.0231$ | 1.3291 | 1.4821 | 1.6351 | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0081 X + 0.8038$ | 1.5328 | 1.8973 | 2.2618 | 2.8          |
| Enfriamiento 1 | Lado acople | $Y= 0.0004 X + 1.111$  | 1.147  | 1.165  | 1.183  | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0009 X + 1.0877$ | 1.1687 | 1.2092 | 1.2497 | 2.8          |
| Enfriamiento 2 | Lado acople | $Y= 0.0002 X + 1.1157$ | 1.1337 | 1.1427 | 1.1517 | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0018 X + 0.8035$ | 0.9655 | 1.0465 | 1.1275 | 2.8          |
| Vacío 1        | Lado acople | $Y= 0.007 X + 0.925$   | 1.555  | 1.87   | 2.185  | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0139 X + 0.6035$ | 1.8545 | 2.48   | 3.1055 | 2.8          |
| Vacío 2        | Lado acople | $Y= 0.0062 X + 0.971$  | 1.529  | 1.808  | 2.087  | 2.8          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0113 X + 0.7519$ | 1.7689 | 2.2774 | 2.7859 | 2.8          |
| Bomba 1        | Lado acople | $Y= 0.0152 X + 1.3109$ | 2.6789 | 3.3629 | 4.0469 | 4.5          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0026 X + 1.601$  | 1.835  | 1.952  | 2.069  | 4.5          |
| Bomba 2        | Lado acople | $Y= 0.0075 X + 2.2202$ | 2.8952 | 3.2327 | 3.5702 | 4.5          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0011 X + 1.5638$ | 1.6628 | 1.7123 | 1.7618 | 4.5          |
| Bomba 3        | Lado acople | $Y= 0.0217 X + 0.3867$ | 2.3397 | 3.3162 | 4.2927 | 4.5          |
|                | Lado libre  | $Y= 0.0035 X + 2.1135$ | 2.4285 | 2.586  | 2.7435 | 4.5          |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.1.3.3. Cronograma utilizando análisis de vibraciones

Como todo ingenio azucarero, la actividad de mantenimiento siempre ha existido a lo largo de los años, pero si bien es cierto que existe el jefe de mantenimiento mecánico y su planificador en quienes recae la responsabilidad de la planificación de los diversos mantenimientos.

Se realizarán programas de mantenimiento, que se podrían definir como mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones, sin embargo, no se tienen registrados en un cronograma de mantenimiento.

Es por ello el cronograma va orientado a la gestión individual de cada actividad de mantenimiento, el desglose de tareas, frecuencia con la que se debe realizar, tiempo destinado para cada tarea y la cantidad de personas necesarias para cumplir la tarea, así también contará con la cantidad de horas necesarias de forma semanal que se deben invertir en la realización de tareas preventivas, así como las horas hombre (HH) y el porcentaje de cumplimiento.

Esto aplicará de cuantas horas se necesitan para cumplir con las actividades de mantenimiento preventivo en los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía, al tener estas actividades facilita la creación de órdenes de mantenimiento en SAP, debido al desglose de actividades por plan de mantenimiento, ya que se encuentra separados por equipos y por los distintos mantenimientos que se realizaran al equipo.

#### **2.1.3.4. Funcionamiento del plan de mantenimiento utilizando análisis de vibraciones**

La finalidad del programa de mantenimiento utilizando análisis de vibraciones es que nosotros como encargados del mantenimiento de la planta establezca el mantenimiento conforme la toma de vibraciones en cada equipo según lo vaya solicitando, es decir tener al día la corrida de vibraciones mecánicas para poder establecer una fecha aproximada del mantenimiento y revisar si contamos con los repuestos necesarios para intervenir en el equipo o solicitarlos con anticipación con el proveedor para tener disponibilidad a la hora de intervenir el equipo.

## 2.2. Costo del mantenimiento utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en una caldera acuatubular Isgec

A continuación, se detallan todos los materiales y repuestos con su respectivo código que se utilizan en el mantenimiento que se le aplicará a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec que pertenece al bloque 6 de generación de energía eléctrica.

### 2.2.1.1. Listado de repuestos a utilizar en 3 bombas de alimentación de agua

Listado de repuestos con su respectivo código Sap para poder ubicarlos más fácil en bodega central ubicada en Ingenio Magdalena, S.A.

Figura 43. Listado de repuestos y materiales para bomba de alimentación de agua 1, C12

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de alimentación de agua KSB #1 |   |          |
|---|---|----------|
| Ingenio Magdalena S.A   |   |          |
| Cantidad  | Material                                | Código   |
| 2   | COJINETE SHELLHG/CHT3RD                 | 14023601 |
| 2   | COJINETE DE BOLAS 7307 BECBP            | 14041859 |
| 5   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC46        | 24000062 |
| 5   | SOLVENTE MINERAL                        | 16008345 |
| 5   | CINTA D/TEFLON 3/4"                     | 16007376 |
| 3   | SILICONE #26B ROJO POMO PERMATX/LOCTITE | 16000090 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 44. **Listado de repuestos y materiales para bomba de alimentación de agua 2, C12**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de alimentación de agua KSB #2 |  |          |
|---|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A   |  |          |
| Cantidad  | Material                                 | Código   |
| 2   | COJINETE SHELLHG/CHT3RD                  | 14023601 |
| 2   | COJINETE DE BOLAS 7307 BECBP             | 14041859 |
| 5   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC46         | 24000062 |
| 5   | SOLVENTE MINERAL                         | 16008345 |
| 5   | CINTA D/TEFLON 3/4"                      | 16007376 |
| 3   | SILICONE #26B ROJO POMO PERMATEX/LOCTITE | 16000090 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 45. **Listado de repuestos y materiales para bomba de alimentación de agua 3, C12**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de alimentación de agua KSB #3 |  |          |
|---|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A   |  |          |
| Cantidad  | Material                                 | Código   |
| 2   | COJINETE SHELLHG/CHT3RD                  | 14023601 |
| 2   | COJINETE DE BOLAS 7307 BECBP             | 14041859 |
| 5   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC46         | 24000062 |
| 5   | SOLVENTE MINERAL                         | 16008345 |
| 5   | CINTA D/TEFLON 3/4"                      | 16007376 |
| 3   | SILICONE #26B ROJO POMO PERMATEX/LOCTITE | 16000090 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.2.2. Listado de repuestos a utilizar en 2 ventiladores inducidos

A continuación, se detallan todos los materiales y repuestos con su respectivo código que se utilizan en el mantenimiento que se le aplicará a los equipos rotativos que conforman la caldera.

Figura 46. **Listado de repuestos y materiales para ventilador inducido 1, C12**

| Listado de repuestos a utilizar en ventilador inducido #1 |                          |          |
|---|--------------------------|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                     |                          |          |
| Cantidad  | Material                 | Código   |
| 2   | COJINETE 22224 EK W 1013 | 14022376 |
| 6   | GRASA POLIREX EM-ESSO    | 24000149 |
| 5   | SOLVENTE MINERAL         | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON           | 18003342 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 47. **Listado de repuestos y materiales para ventilador inducido 2, C12**

| Listado de repuestos a utilizar en ventilador inducido #2 |                          |          |
|---|--------------------------|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                     |                          |          |
| Cantidad  | Material                 | Código   |
| 2   | COJINETE 22224 EK W 1013 | 14022376 |
| 6   | GRASA POLIREX EM-ESSO    | 24000149 |
| 5   | SOLVENTE MINERAL         | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON           | 18003342 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.2.3. Listado de repuestos a utilizar en 2 ventiladores primarios

A continuación, se detallan todos los materiales y repuestos con su respectivo código que se utilizan en el mantenimiento que se le aplicará a los equipos rotativos que conforman la caldera.

Figura 48. **Listado de repuestos y materiales para ventilador primario 1, C12**

| Listado de repuestos a utilizar en ventilador forzado primario #1 |  |          |
|---|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A   |  |          |
| Cantidad  | Material                                 | Código   |
| 2   | COJINETE INT EJE HOR 200HP 22216 E/C3    | 14005965 |
| 2   | MANGO APRIETE HA 316 P/COJINETE 22216 EK | 14041160 |
| 4   | GRASA POLIREX EM-ESSO                    | 24000149 |
| 3   | SOLVENTE MINERAL                         | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON                           | 18003342 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 49. **Listado de repuestos y materiales para ventilador primario 2, C12**

| Listado de repuestos a utilizar en ventilador forzado primario #2 |  |          |
|---|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A   |  |          |
| Cantidad  | Material                                 | Código   |
| 2   | COJINETE INT EJE HOR 200HP 22216 E/C3    | 14005965 |
| 2   | MANGO APRIETE HA 316 P/COJINETE 22216 EK | 14041160 |
| 4   | GRASA POLIREX EM-ESSO                    | 24000149 |
| 3   | SOLVENTE MINERAL                         | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON                           | 18003342 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

#### 2.2.4. Listado de repuestos a utilizar en 2 ventiladores secundarios

A continuación, se detallan todos los materiales y repuestos con su respectivo código que se utilizan en el mantenimiento que se les aplicará a los equipos rotativos que conforman la caldera.

Figura 50. **Listado de repuestos y materiales para ventilador secundario 1, C12**

| <b>Listado de repuestos a utilizar en ventilador forzado secundario #1</b> |                                  |               |
|--|----------------------------------|---------------|
| Ingenio Magdalena S.A  |                                  |               |
| <b>Cantidad</b>  | <b>Material</b>                  | <b>Código</b> |
| 2  | COJINETE 22218EK C/MANGUITO H318 | 14012515      |
| 4  | GRASA POLIREX EM-ESSO            | 24000149      |
| 3  | SOLVENTE MINERAL                 | 16008345      |
| 5  | WIPE D/ALGODON                   | 18003342      |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 51. **Listado de repuestos y materiales para ventilador secundario 2, C12**

| <b>Listado de repuestos a utilizar en ventilador forzado secundario #2</b> |                                  |               |
|--|----------------------------------|---------------|
| Ingenio Magdalena S.A  |                                  |               |
| <b>Cantidad</b>  | <b>Material</b>                  | <b>Código</b> |
| 2  | COJINETE 22218EK C/MANGUITO H318 | 14012515      |
| 4  | GRASA POLIREX EM-ESSO            | 24000149      |
| 3  | SOLVENTE MINERAL                 | 16008345      |
| 5  | WIPE D/ALGODON                   | 18003342      |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

**2.2.5. Costo total utilizando técnicos mecánicos y repuestos para el mantenimiento, utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en caldera acuotubular Isgec**

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec.

Se detallan tipos de mecánicos a utilizar, días que estarán trabajando en el equipo y todos los materiales para llevar a cabo un excelente mantenimiento.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en bomba de alimentación de agua.

Figura 52. **Costo mantenimiento en bomba de alimentación de agua**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones |          |             |            |              |                            |          |                  |            |
|---|----------|-------------|------------|--------------|----------------------------|----------|------------------|------------|
| como método de monitoreo por condición                      |          |             |            |              |                            |          |                  |            |
| Bomba de alimentación de agua                               |          |             |            |              |                            |          |                  |            |
| Material  |          |             |            | Mano de obra |                            |          |                  |            |
| Cantidad  | Código   | Costo       | Total      | Cantidad     | Puesto                     | Días     | Q/ día           | Total      |
| 2   | 14023601 | Q 20,683.00 | Q41,366.00 | 1            | Mécanico especial          | 7        | Q 140.00         | Q 980.00   |
| 2   | 14041859 | Q 465.00    | Q 930.00   | 1            | Mécanico IV                | 7        | Q 113.00         | Q 791.00   |
| 5   | 24000062 | Q 60.15     | Q 300.75   |              |                            |          |                  | Q 1,771.00 |
| 5   | 16008345 | Q 30.64     | Q 153.20   |              |                            |          |                  |            |
| 5   | 16007376 | Q 2.96      | Q 14.80    |              |                            |          |                  |            |
| 3   | 16000090 | Q 12.46     | Q 37.38    |              |                            |          |                  |            |
|   |          |             | Q42,802.13 |              |                            |          |                  |            |
|   |          |             |            |              | <b>Costo total mantto.</b> | <b>Q</b> | <b>44,573.13</b> |            |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en ventilador inducido.

Figura 53. **Costo mantenimiento en ventilador inducido**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones |          |            |            |                                       |             |      |          |            |
|---|----------|------------|------------|---------------------------------------|-------------|------|----------|------------|
| como método de monitoreo por condición                      |          |            |            |                                       |             |      |          |            |
| Ventilador inducido   |          |            |            |                                       |             |      |          |            |
| Material  |          |            |            | Mano de obra                          |             |      |          |            |
| Cantidad  | Código   | Costo      | Total      | Cantidad                              | Puesto      | Días | Q / día  | Total      |
| 2   | 14022376 | Q 2,382.23 | Q 4,764.46 | 1                                     | Mécanico I  | 5    | Q 126.00 | Q 630.00   |
| 6   | 24000149 | Q 24.32    | Q 145.92   | 1                                     | Mécanico IV | 5    | Q 113.00 | Q 565.00   |
| 5   | 16008345 | Q 30.64    | Q 153.20   |                                       |             |      |          | Q 1,195.00 |
| 5   | 18003342 | Q 5.18     | Q 25.90    |                                       |             |      |          | Q 5,089.48 |
|   |          |            |            | <b>Costo total mantto. Q 6,284.48</b> |             |      |          |            |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en ventilador primario.

Figura 54. **Costo mantenimiento en ventilador primario**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones |          |          |            |                                       |             |      |          |            |
|---|----------|----------|------------|---------------------------------------|-------------|------|----------|------------|
| como método de monitoreo por condición                      |          |          |            |                                       |             |      |          |            |
| Ventilador primario   |          |          |            |                                       |             |      |          |            |
| Material  |          |          |            | Mano de obra                          |             |      |          |            |
| Cantidad  | Código   | Costo    | Total      | Cantidad                              | Puesto      | Días | Q / día  | Total      |
| 2   | 14005965 | Q 938.36 | Q 1,876.72 | 1                                     | Mécanico I  | 3    | Q 126.00 | Q 378.00   |
| 2   | 14041160 | Q 196.43 | Q 392.86   | 1                                     | Mécanico IV | 3    | Q 113.00 | Q 339.00   |
| 4   | 24000149 | Q 24.32  | Q 97.28    |                                       |             |      |          | Q 717.00   |
| 3   | 16008345 | Q 30.64  | Q 91.92    |                                       |             |      |          |            |
| 5   | 18003342 | Q 5.18   | Q 25.90    |                                       |             |      |          | Q 2,484.68 |
|   |          |          |            | <b>Costo total mantto. Q 3,201.68</b> |             |      |          |            |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en ventilador primario.

Figura 55. **Costo mantenimiento en ventilador secundario**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones |          |            |            |              |             |      |          |                                |
|---|----------|------------|------------|--------------|-------------|------|----------|--------------------------------|
| como método de monitoreo por condición                      |          |            |            |              |             |      |          |                                |
| Ventilador secundario                                       |          |            |            |              |             |      |          |                                |
| Material  |          |            |            | Mano de obra |             |      |          |                                |
| Cantidad  | Código   | Costo      | Total      | Cantidad     | Puesto      | Días | Q/ día   | Total                          |
| 2   | 14012515 | Q 1,287.90 | Q 2,575.80 | 1            | Mécanico I  | 3    | Q 126.00 | Q 378.00                       |
| 4   | 24000149 | Q 24.32    | Q 97.28    | 1            | Mécanico IV | 3    | Q 113.00 | Q 339.00                       |
| 3   | 16008345 | Q 30.64    | Q 91.92    |              |             |      |          | Q 717.00                       |
| 5   | 18003342 | Q 5.18     | Q 25.90    |              |             |      |          |                                |
|   |          |            | Q 2,790.90 |              |             |      |          |                                |
|   |          |            |            |              |             |      |          | Costo total mantto. Q 3,507.90 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo total de mano de obra en los equipos rotativos que conforman una caldera Isgec.

Figura 56. **Costo mantenimiento en equipos rotativos en caldera Isgec**

| RESUMEN DE COSTOS MANO OBRA CALDERA ISGEC |          |              |             |
|---|----------|--------------|-------------|
| Ubicación                                 | Cantidad | Mano de obra | Total       |
| Bombas de alimentación de agua            | 3        | Q 1,771.00   | Q 5,313.00  |
| Ventilador inducido                       | 2        | Q 1,195.00   | Q 2,390.00  |
| Ventilador primario                       | 2        | Q 717.00     | Q 1,434.00  |
| Ventilador secundario                     | 2        | Q 717.00     | Q 1,434.00  |
|   |          |              | Q 10,571.00 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo total de repuestos y materiales en los equipos rotativos que conforman una caldera Isgec.

Figura 57. **Costo total equipos rotativos en caldera Isgec**

| RESUMEN DE COSTOS MATERIALES CALDERA ISGEC |          |               |                    |
|--|----------|---------------|--------------------|
| Ubicación                                  | Cantidad | Costo Mantto. | Total              |
| Bomba alimentación de agua                 | 3        | Q 42,802.13   | Q128,407.17        |
| Ventilador inducido                        | 2        | Q 5,089.48    | Q 10,160.96        |
| Ventilador primario                        | 2        | Q 2,484.68    | Q 4,969.36         |
| Ventilador secundario                      | 2        | Q 2,790.90    | Q 5,581.80         |
|  |          |               | <b>Q149,119.29</b> |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo total del mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en caldera Isgec

$$Q. 149\ 119,29 + Q10\ 57,00 = Q. 159\ 690,29$$

### 2.3. **Costo del mantenimiento utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en turbina de vapor Siemens**

A continuación, se detallan todos los materiales y repuestos con su respectivo código a utilizar en el mantenimiento que se le aplicará a los equipos rotativos que conforman la turbina de vapor Siemens que pertenece al bloque 6 de generación de energía eléctrica.

### 2.3.1. Listado de repuestos a utilizar en bombas de lubricación

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec.

Figura 58. Listado de repuestos y materiales para bomba de lubricación

1

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de lubricación #1 |  |          |
|--|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                      |  |          |
| Cantidad   | Material                               | Código   |
| 1  | COJINETE D/CONTACTO ANGULAR 7313 BECBM | 14004630 |
| 1  | COJINETE 313K                          | 14035198 |
| 1  | GRASA ALVANIA E. P. 2 GADUS S3 V 220C  | 24000023 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 3/4"                  | 14025647 |
| 1  | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100      | 24000049 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 59. Listado de repuestos y materiales para bomba de lubricación

2

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de lubricación #2 |  |          |
|--|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                      |  |          |
| Cantidad   | Material                               | Código   |
| 1  | COJINETE D/CONTACTO ANGULAR 7313 BECBM | 14004630 |
| 1  | COJINETE 313K                          | 14035198 |
| 1  | GRASA ALVANIA E. P. 2 GADUS S3 V 220C  | 24000023 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 3/4"                  | 14025647 |
| 1  | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100      | 24000049 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.3.2. Listado de repuestos a utilizar en bombas de circulación

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec.

Figura 60. **Listado de repuestos y materiales para bomba de circulación 1**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de circulación #1 |                                       |          |
|--|---------------------------------------|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                      |                                       |          |
| Cantidad   | Material                              | Código   |
| 1  | COJINETE 72225C P/BUS                 | 14026250 |
| 1  | COJINETE 6222ZZ                       | 14032554 |
| 1  | GRASA ALVANIA E. P. 2 GADUS S3 V 220C | 24000023 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 3/4"                 | 14025647 |
| 1  | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100     | 24000049 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 61. **Listado de repuestos y materiales para bomba de circulación 2**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de circulación #2 |                                       |          |
|--|---------------------------------------|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                      |                                       |          |
| Cantidad   | Material                              | Código   |
| 1  | COJINETE 72225C P/BUS                 | 14026250 |
| 1  | COJINETE 6222ZZ                       | 14032554 |
| 1  | GRASA ALVANIA E. P. 2 GADUS S3 V 220C | 24000023 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 3/4"                 | 14025647 |
| 1  | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100     | 24000049 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.3.3. Listado de repuestos a utilizar en bombas de condensado

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec.

Figura 62. **Listado de repuestos y materiales para bomba de condensado 1**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de condensado #1 |  |          |
|---|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                     |  |          |
| Cantidad  | Material                               | Código   |
| 1   | COJINETE D/CONTACTO ANGULAR 7313 BECBM | 14004630 |
| 1   | COJINETE D/RODOS 313E (PISTA NU313E)   | 14007100 |
| 3   | SOLVENTE MINERAL                       | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON                         | 18003342 |
| 1   | LAMINA TEFLONADA 1/16"                 | 14024505 |
| 1/2 galón   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100      | 24000049 |
| 1   | PISTOLA P/LIMPIEZA CLEANER GUN (FLEX)  | 29000061 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 63. **Listado de repuestos y materiales para bomba de condensado 2**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de condensado #2 |  |          |
|---|--|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                     |  |          |
| Cantidad  | Material                               | Código   |
| 1   | COJINETE D/CONTACTO ANGULAR 7313 BECBM | 14004630 |
| 1   | COJINETE D/RODOS 313E (PISTA NU313E)   | 14007100 |
| 3   | SOLVENTE MINERAL                       | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON                         | 18003342 |
| 1   | LAMINA TEFLONADA 1/16"                 | 14024505 |
| 1/2 galón   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100      | 24000049 |
| 1   | PISTOLA P/LIMPIEZA CLEANER GUN (FLEX)  | 29000061 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.3.4. Listado de repuestos a utilizar en bombas de enfriamiento

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec.

Figura 64. **Listado de repuestos y materiales para bomba de enfriamiento 1**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de enfriamiento #1 |                                       |          |
|---|---------------------------------------|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                       |                                       |          |
| Cantidad  | Material                              | Código   |
| 1   | COJINETE 3309 5309                    | 14028890 |
| 1   | COJINETE 6309 ZZ C3                   | 14027179 |
| 3   | SOLVENTE MINERAL                      | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON                        | 18003342 |
| 1   | ESTOPA TEFLONADA 3/8"                 | 14025628 |
| 1/2 galón   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100     | 24000049 |
| 1   | PISTOLA P/LIMPIEZA CLEANER GUN (FLEX) | 29000061 |
| 1   | LAMINA TEFLONADA 1/16"                | 14024505 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 65. **Listado de repuestos y materiales para bomba de enfriamiento 2**

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de enfriamiento #2 |                                       |          |
|---|---------------------------------------|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                       |                                       |          |
| Cantidad  | Material                              | Código   |
| 1   | COJINETE 3309 5309                    | 14028890 |
| 1   | COJINETE 6309 ZZ C3                   | 14027179 |
| 3   | SOLVENTE MINERAL                      | 16008345 |
| 5   | WIPE D/ALGODON                        | 18003342 |
| 1   | ESTOPA TEFLONADA 3/8"                 | 14025628 |
| 1/2 galón   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100     | 24000049 |
| 1   | PISTOLA P/LIMPIEZA CLEANER GUN (FLEX) | 29000061 |
| 1   | LAMINA TEFLONADA 1/16"                | 14024505 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.3.5. Listado de repuestos a utilizar en bombas de vacío

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec.

Figura 66. Listado de repuestos y materiales para bomba de vacío 1

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de vacío #1 |   |          |
|--|---|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                |   |          |
| Cantidad   | Material                                | Código   |
| 1  | COJINETE K483                           | 14034569 |
| 1  | COJINETE 22213 EK-C3                    | 14043245 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 1/2"                   | 14025654 |
| 1  | LAMINA TEFLONADA 1/32"                  | 14024506 |
| 5  | WIPE D/ALGODON                          | 18003342 |
| 3  | SOLVENTE MINERAL                        | 16008345 |
| 1  | ESCOBA CERDA SUAVE Y MANGO METALICO/AZU | 18004393 |
| 1 galón  | GRASA ALVANIA E. P. 2 GADUS S3 V 220C   | 24000023 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 1/2"                   | 14025654 |
| 1  | PISTOLA P/LIMPIEZA CLEANER GUN (FLEX)   | 29000061 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 67. Listado de repuestos y materiales para bomba de vacío 2

| Listado de repuestos a utilizar en bomba de vacío #2 |   |          |
|--|---|----------|
| Ingenio Magdalena S.A                                |   |          |
| Cantidad   | Material                                | Código   |
| 1  | COJINETE K483                           | 14034569 |
| 1  | COJINETE 22213 EK-C3                    | 14043245 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 1/2"                   | 14025654 |
| 1  | LAMINA TEFLONADA 1/32"                  | 14024506 |
| 5  | WIPE D/ALGODON                          | 18003342 |
| 3  | SOLVENTE MINERAL                        | 16008345 |
| 1  | ESCOBA CERDA SUAVE Y MANGO METALICO/AZU | 18004393 |
| 1 galón  | GRASA ALVANIA E. P. 2 GADUS S3 V 220C   | 24000023 |
| 1  | ESTOPA TEFLONADA 1/2"                   | 14025654 |
| 1  | PISTOLA P/LIMPIEZA CLEANER GUN (FLEX)   | 29000061 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

### 2.3.6. Listado de repuestos a utilizar en ventiladores de torres de enfriamiento

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la caldera Isgec.

Figura 68. **Listado de repuestos y materiales para bomba de ventilador de torre de enfriamiento 1**

| <b>Listado de repuestos a utilizar en ventiladores de torres de enfriamiento #1</b> |                                   |               |
|---|-----------------------------------|---------------|
| Ingenio Magdalena S.A   |                                   |               |
| <b>Cantidad</b>   | <b>Material</b>                   | <b>Código</b> |
| 1   | COJINETE 22226EK C/MANGUITO H3126 | 14011446      |
| 1   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100 | 24000049      |
| 1   | ESTOPA TEFLONADA 1"               | 14027673      |
| 1   | ARANDELA D/SEGURIDAD # W22        | 16005207      |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 69. **Listado de repuestos y materiales para bomba de ventilador de torre de enfriamiento 2**

| <b>Listado de repuestos a utilizar en ventiladores de torres de enfriamiento #2</b> |                                   |               |
|---|-----------------------------------|---------------|
| Ingenio Magdalena S.A   |                                   |               |
| <b>Cantidad</b>   | <b>Material</b>                   | <b>Código</b> |
| 1   | COJINETE 22226EK C/MANGUITO H3126 | 14011446      |
| 1   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100 | 24000049      |
| 1   | ESTOPA TEFLONADA 1"               | 14027673      |
| 1   | ARANDELA D/SEGURIDAD # W22        | 16005207      |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 70. **Listado de repuestos y materiales para bomba de ventilador de torre de enfriamiento 3**

| <b>Listado de repuestos a utilizar en ventiladores de torres de enfriamiento #3</b> |                                   |               |
|---|-----------------------------------|---------------|
| Ingenio Magdalena S.A   |                                   |               |
| <b>Cantidad</b>   | <b>Material</b>                   | <b>Código</b> |
| 1   | COJINETE 22226EK C/MANGUITO H3126 | 14011446      |
| 1   | ACEITE D/CIRCULACION TERESSTIC100 | 24000049      |
| 1   | ESTOPA TEFLONADA 1"               | 14027673      |
| 1   | ARANDELA D/SEGURIDAD # W22        | 16005207      |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

**2.3.7. Costo total utilizando técnicos mecánicos y repuestos para el mantenimiento, utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en turbina de vapor Siemens.**

A continuación, se detalla un desglose de todo lo requerido con precio para el mantenimiento utilizando análisis de vibraciones a los equipos rotativos que conforman la turbina de vapor Siemens.

Se detallan tipos de mecánicos a utilizar, días que estarán trabajando en el equipo y todos los materiales para llevar a cabo un excelente mantenimiento.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en bomba de lubricación de aceite.

Figura 71. **Costo mantenimiento en bomba de lubricación**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones |          |          |            |              |                   |      |          |                                       |
|---|----------|----------|------------|--------------|-------------------|------|----------|---------------------------------------|
| como método de monitoreo por condición                      |          |          |            |              |                   |      |          |                                       |
| Bomba de lubricación  |          |          |            |              |                   |      |          |                                       |
| Material  |          |          |            | Mano de obra |                   |      |          |                                       |
| Cantidad  | Código   | Costo    | Total      | Cantidad     | Puesto            | Días | Q / día  | Total                                 |
| 1   | 14004630 | Q 704.00 | Q 704.00   | 1            | Mécanico especial | 3    | Q 140.00 | Q 420.00                              |
| 1   | 14035198 | Q 445.00 | Q 445.00   | 1            | Mécanico IV       | 3    | Q 113.00 | Q 339.00                              |
| 1   | 24000023 | Q 14.23  | Q 14.23    |              |                   |      |          | Q 759.00                              |
| 1   | 14025647 | Q 45.25  | Q 45.25    |              |                   |      |          |                                       |
| 1   | 24000049 | Q 65.32  | Q 65.32    |              |                   |      |          |                                       |
|   |          |          | Q 1,273.80 |              |                   |      |          |                                       |
|   |          |          |            |              |                   |      |          | <b>Costo total mantto. Q 2,032.80</b> |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en bomba de circulación de aceite.

Figura 72. **Costo mantenimiento en bomba de circulación**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones |          |            |            |              |                   |      |          |                                       |
|---|----------|------------|------------|--------------|-------------------|------|----------|---------------------------------------|
| como método de monitoreo por condición                      |          |            |            |              |                   |      |          |                                       |
| Bomba de circulación  |          |            |            |              |                   |      |          |                                       |
| Material  |          |            |            | Mano de obra |                   |      |          |                                       |
| Cantidad  | Código   | Costo      | Total      | Cantidad     | Puesto            | Días | Q / día  | Total                                 |
| 1   | 14026250 | Q 198.04   | Q 198.04   | 1            | Mécanico especial | 3    | Q 140.00 | Q 420.00                              |
| 1   | 14032554 | Q 1,018.54 | Q 1,018.54 | 1            | Mécanico IV       | 3    | Q 113.00 | Q 339.00                              |
| 1   | 24000023 | Q 14.23    | Q 14.23    |              |                   |      |          | Q 759.00                              |
| 1   | 14025647 | Q 45.25    | Q 45.25    |              |                   |      |          |                                       |
| 1   | 24000049 | Q 65.32    | Q 65.32    |              |                   |      |          |                                       |
|   |          |            | Q 1,341.38 |              |                   |      |          |                                       |
|   |          |            |            |              |                   |      |          | <b>Costo total mantto. Q 2,100.38</b> |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

Figura 73. Costo mantenimiento en bomba de condensado

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones<br>como método de monitoreo por condición<br>Bomba de condensado |          |          |            |              |                   |      |          |          |
|--|----------|----------|------------|--------------|-------------------|------|----------|----------|
| Material   |          |          |            | Mano de obra |                   |      |          |          |
| Cantidad   | Código   | Costo    | Total      | Cantidad     | Puesto            | Días | Q / día  | Total    |
| 1  | 14004630 | Q 704.00 | Q 704.00   | 1            | Mécanico especial | 3    | Q 140.00 | Q 420.00 |
| 1  | 14007100 | Q 491.00 | Q 491.00   | 1            | Mécanico IV       | 3    | Q 113.00 | Q 339.00 |
| 3  | 16008345 | Q 27.13  | Q 81.39    |              |                   |      |          | Q 759.00 |
| 5  | 18003342 | Q 5.30   | Q 26.50    |              |                   |      |          |          |
| 1  | 14024505 | Q 230.00 | Q 230.00   |              |                   |      |          |          |
| 1/2 galón  | 24000049 | Q 65.32  | Q 32.66    |              |                   |      |          |          |
| 1  | 29000061 | Q 102.67 | Q 102.67   |              |                   |      |          |          |
|  |          |          | Q 1,668.22 |              |                   |      |          |          |

**Costo total mantto. Q 2,427.22**

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en bomba de enfriamiento de aceite.

Figura 74. Costo mantenimiento en bomba de enfriamiento

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones<br>como método de monitoreo por condición<br>Bomba de enfriamiento |          |          |          |              |                   |      |          |          |
|--|----------|----------|----------|--------------|-------------------|------|----------|----------|
| Material   |          |          |          | Mano de obra |                   |      |          |          |
| Cantidad   | Código   | Costo    | Total    | Cantidad     | Puesto            | Días | Q / día  | Total    |
| 1  | 14028890 | Q 306.16 | Q 306.16 | 1            | Mécanico especial | 3    | Q 140.00 | Q 420.00 |
| 1  | 14027179 | Q 101.71 | Q 101.71 | 1            | Mécanico IV       | 3    | Q 113.00 | Q 339.00 |
| 3  | 16008345 | Q 27.13  | Q 81.39  |              |                   |      |          | Q 759.00 |
| 5  | 18003342 | Q 5.30   | Q 26.50  |              |                   |      |          |          |
| 1  | 14025628 | Q 12.86  | Q 12.86  |              |                   |      |          |          |
| 1/2 galón  | 24000049 | Q 65.32  | Q 32.66  |              |                   |      |          |          |
| 1  | 29000061 | Q 102.67 | Q 102.67 |              |                   |      |          |          |
| 1  | 14024505 | Q 230.00 | Q 230.00 |              |                   |      |          |          |
|  |          |          | Q 893.95 |              |                   |      |          |          |

**Costo total mantto. Q 3,186.22**

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en bomba de vacío.

Figura 75. **Costo mantenimiento en bomba de vacío**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones<br>como método de monitoreo por condición<br>Bomba de vacío |          |          |            |              |                   |      |          |          |
|---|----------|----------|------------|--------------|-------------------|------|----------|----------|
| Material  |          |          |            | Mano de obra |                   |      |          |          |
| Cantidad  | Código   | Costo    | Total      | Cantidad     | Puesto            | Días | Q / día  | Total    |
| 1   | 14034569 | Q 627.85 | Q 627.85   | 1            | Mécanico especial | 3    | Q 140.00 | Q 420.00 |
| 1   | 14043245 | Q 529.43 | Q 529.43   | 1            | Mécanico IV       | 3    | Q 113.00 | Q 339.00 |
| 1   | 14025654 | Q 22.22  | Q 22.22    |              |                   |      |          | Q 759.00 |
| 1   | 14024506 | Q 167.00 | Q 167.00   |              |                   |      |          |          |
| 5   | 18003342 | Q 5.30   | Q 26.50    |              |                   |      |          |          |
| 3   | 16008345 | Q 27.13  | Q 81.39    |              |                   |      |          |          |
| 1   | 18004393 | Q 14.73  | Q 14.73    |              |                   |      |          |          |
| 1   | 24000023 | Q 28.81  | Q 28.81    |              |                   |      |          |          |
| 1   | 14025654 | Q 22.22  | Q 22.22    |              |                   |      |          |          |
| 1   | 29000061 | Q 102.67 | Q 102.67   |              |                   |      |          |          |
|   |          |          | Q 1,622.82 |              |                   |      |          |          |

**Costo total mantto. Q 2,381.82**

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo mantto. preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición en ventilador de torre de enfriamiento.

Figura 76. **Costo mantenimiento en bomba de ventilador de torre de enfriamiento**

| Mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones<br>como método de monitoreo por condición<br>Ventilador de torre de enfriamiento |          |            |            |              |                   |      |          |            |
|--|----------|------------|------------|--------------|-------------------|------|----------|------------|
| Material   |          |            |            | Mano de obra |                   |      |          |            |
| Cantidad   | Código   | Costo      | Total      | Cantidad     | Puesto            | Días | Q/ día   | Total      |
| 1  | 14011446 | Q 2,779.20 | Q 2,779.20 | 1            | Mécanico especial | 5    | Q 140.00 | Q 700.00   |
| 1  | 24000049 | Q 65.32    | Q 65.32    | 1            | Mécanico IV       | 5    | Q 113.00 | Q 565.00   |
| 1  | 14027673 | Q 121.43   | Q 121.43   |              |                   |      |          | Q 1,265.00 |
| 1  | 16005207 | Q 43.75    | Q 43.75    |              |                   |      |          |            |
|  |          |            | Q 3,009.70 |              |                   |      |          |            |
| <b>Costo total mantto. Q 4,274.70</b>  |          |            |            |              |                   |      |          |            |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo total de mano de obra en los equipos rotativos que conforman una turbina de vapor Siemens.

Figura 77. **Costo mantenimiento en equipos rotativos en turbina de vapor Siemens**

| RESUMEN DE COSTOS MANO OBRA TURBINA DE VAPOR SIEMENS |          |              |             |
|--|----------|--------------|-------------|
| Ubicación  | Cantidad | Mano de obra | Total       |
| Bomba de lubricación                                 | 2        | Q 759.00     | Q 1,518.00  |
| Bomba de circulación                                 | 2        | Q 759.00     | Q 1,518.00  |
| Bomba de condensado                                  | 2        | Q 759.00     | Q 1,518.00  |
| Bomab de enfriamiento                                | 2        | Q 759.00     | Q 1,518.00  |
| Bomba de vacío                                       | 2        | Q 759.00     | Q 1,518.00  |
| Ventilador de torre de enfriamiento                  | 3        | Q 1,265.00   | Q 3,795.00  |
|  |          |              | Q 11,385.00 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.

- Costo total de repuestos y materiales en los equipos rotativos que conforman una turbina de vapor Siemens.

Figura 78. Costo total equipos rotativos en turbina de vapor Siemens

| RESUMEN DE COSTOS MATERIALES TURBINA SIEMENS |          |               |             |
|--|----------|---------------|-------------|
| Ubicación                                    | Cantidad | Costo Mantto. | Total       |
| Bomba de lubricación de aceite               | 2        | Q 2,032.80    | Q 4,065.60  |
| Bomba de circulación de aceite               | 2        | Q 1,341.38    | Q 2,682.76  |
| Bomba de condensado                          | 2        | Q 1,668.22    | Q 3,336.44  |
| Bomba de enfriamiento de aceite              | 2        | Q 893.95      | Q 1,787.90  |
| Bomba de vacío                               | 2        | Q 1,622.82    | Q 3,245.64  |
| Ventilador de torre de enfriamiento          | 3        | Q 3,009.70    | Q 9,029.10  |
|  |          |               | Q 24,147.44 |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel plus 2016.



### **3. FASE DE DOCENCIA**

Esta etapa tuvo como finalidad apoyo didáctico en el desarrollo del funcionamiento y la necesidad de obtener un plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición, para los equipos rotativos que conforman un bloque de generación de energía eléctrica, también lo importante de llevar un control de las actividades de mantenimiento realizadas por medio del sistema SAP.

#### **3.1. Desarrollo del plan de capacitación**

Se elaboró una planificación para capacitar a los supervisores mecánicos industriales en la utilización, interpretación y ejecución de datos y archivos elaborados para el plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición.

##### **3.1.1. Objetivo**

Capacitar a los supervisores y mecánicos especializados en la utilización, interpretación y ejecución de datos y archivos elaborados para el plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición.

### **3.1.2. Meta**

Las metas fueron establecidas a forma que al cumplirse la capacitación y se les dé un seguimiento correcto a los procedimientos establecidos se logró alcanzar:

- Explicar a detalle el plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición.
- Tener claro los pasos y procedimientos establecidos.
- Presentar a los jefes de área y supervisores los *check list* a utilizar para las inspecciones de rutina.
- Capacitar a los jefes de área, supervisores y mecánicos especializados.
- Conocimiento sobre el presupuesto al gerente de área.

### **3.1.3. Estrategia**

La capacitación del plan de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición es la última etapa para la gestión de este.

Es importante darles a conocer a los jefes de área, supervisores y mecánicos especializados sobre sus actividades y de cómo aportan al cumplimiento de objetivos. La capacitación consta de tres fases:

- **Concientización:** se le hizo saber a los jefes de área, supervisores y mecánicos especializados, la importancia de la creación de órdenes de mantenimiento en el sistema SAP y los beneficios que esta actividad conlleva.
- **Presentación del plan de mantenimiento utilizando análisis de vibraciones:** se dieron a conocer los conceptos básicos y puntos clave para la ejecución del mismo.

Figura 79. **Capacitación al personal del área de cogeneración**



Fuente: elaboración propia, Ingenio Magdalena.

### 3.1.4. Matriz capacitación

Una matriz de capacitación nos permite realizar un almacenamiento de información para medir cambios en los conocimientos y habilidades adquiridos del personal por medio de las capacitaciones, también es utilizada para medir la eficacia de los programas de capacitación.

Esta matriz va enfocada en poder compartir con un plan de trabajo los conocimientos adquiridos, es decir, asignar la información al grupo de personal indicado, formando una capacitación completa al adjuntar cada parte de la matriz de capacitación.

Tabla XXIV. **Matriz de capacitación para el área de taller**

| <b>Plaza</b>             | <b>Capacitación</b>  | <b>Participantes</b> |
|--------------------------|--|----------------------|
| Técnicos mecánicos       | Importancia del mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones.           | 33                   |
| Digitadores y analistas  | Identificación de desperfectos mecánicos por medio del análisis de vibraciones.        | 2                    |
| Gerencias y supervisores | Impacto e importancia del mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones. | 8                    |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel Plus 2016.

## CONCLUSIONES

1. Al realizar un diagnóstico inicial expuse la necesidad de la siguiente propuesta de mantenimiento, debido a la falta de organización en el taller mecánico al tener como base fundamental un mantenimiento correctivo, lo cuál fue el punto de partida para plantear una serie de metodologías para la aplicación del mantenimiento preventivo con el fin de mejorar notablemente la situación actual.
2. Al presentarse parámetros de vibraciones fuera de lo normal de acuerdo a los parámetros de cada equipo rotativo, conlleva a tener mayor porcentaje de alguna falla mecánica inesperada y con la propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones podemos predecir con anticipación dicha falla.
3. Poseer una matriz de capacitación orientada al desarrollo de conocimientos establecidos para cada puesto de trabajo, tiene un impacto positivo en la propuesta de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones como método de monitoreo por condición, pues se contará con personal especializado y capacitado enfocado directamente a sus áreas de trabajo.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar supervisiones de mantenimiento con el afán de observar que se estén cumpliendo los nuevos formatos y sistemas de información, de esta forma saber que se tienen equipos en condiciones óptimas de trabajo.
2. Continuar con el reforzamiento de concientización a los técnicos de mantenimiento y personal acerca de la importancia del tema mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones.
3. Priorizar que el mantenimiento tenga acceso a la información del programa de mantenimiento preventivo utilizando análisis de vibraciones, mas no a la manipulación del mismo, esto para evitar manejo inadecuado de datos y resultados.
4. Atender con el mayor seguimiento posible por parte del área de mantenimiento a los equipos rotativos que presentan altos parámetros de vibraciones mecánicas en la actualidad.
5. Planificar con el apoyo de la gerencia cumplir con las fechas de mantenimiento preventivo de acuerdo como nos lo vaya indicando el análisis de vibraciones que se aplicará a cada equipo rotativo que conforma el bloque de generación de energía eléctrica.
6. Contactar de manera anticipada al proveedor de materiales y repuestos conforme el análisis de vibraciones lo vaya indicando.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ CORRALES, Diego Fernando; SOTO ORTEGA, Carlos José; CHERREZ ÁVILA, Iván. *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para la fábrica Plastiazuay*. Universidad politécnica Salesiana. 2012. 10 p.
2. GARCÍA GARRIDO, Santiago. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. 1a ed. España: Ediciones Díaz de santos, 2003. 320 p.
3. MORA, Luis Alberto. *Mantenimiento-planeación, ejecución y control*. 1a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 2009. 528 p.
4. PENKOVA VASSILEVA, María. *Mantenimiento y análisis de vibraciones*. 1a ed. República Dominicana: Ciencia y sociedad, 2007. 678 p.
5. QUIROGA MÉNDEZ, Jabid; OVIEDO CASTILLO, Silvia. *Implementación de un mantenimiento basado en la condición usando modelado y simulación: caso de estudio de un motor sincrónico de imanes permanentes*. Bogotá: Ingeniería e Investigación, 2011. vol. 31, no 2. 180 p.
6. RUIZ ACEVEDO, Adriana María. *Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de*

*petróleo*. Tesis de Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 2012. 130 p.

7. SÁNCHEZ-GÓMEZ, Ana María, et al. *Técnicas de mantenimiento predictivo: metodología de aplicación en las organizaciones*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. 2017. 72 p.
8. TEJAXÚN SOLLOY, César Augusto. *Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la Norma ISO 17359: 2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola*. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2019. 126 p.
9. TOAPANTA CUNALATA, Oscar Gabriel. *Implementación de un Análisis de Mantenimiento Basado en Condición de los Compresores Reciprocantes y de Tornillo*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador, Facultad de Mecánica. 2009. 239 p.
10. TORRES, Fernando; ROYO, Jesús; RABANAQUE, Gloria. *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. DIDYF Universidad de Zaragoza, España. 2000. 448 p.