



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

---

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL

**“Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento para  
aumentar la confiabilidad de los equipos críticos en la  
empresa Agroindustrial Laredo S.A.A”**

**Autor:** Bach Luis Arturo Castro Alva

**Asesor:** Ing. Carlos Flores Lezama

TRUJILLO – PERÚ

2012

## INDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
PRESENTACION.....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRAC .....	vi

## CAPITULO I MARCO TEORICO

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 ANTECEDENTES EMPRESA ANGELES MINERIA Y CONSTRUCCION SAC.....	1
1.1.2 ANTECEDENTES REPSOL YPF .....	2
1.2 MARCO TEORICO .....	3
1.2.1 GESTION DEL MANTENIMIENTO .....	3
1.2.2 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	6
1.2.3 PLAN DE MANTENIMIENTO .....	7
1.2.4 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO .....	8
1.2.5 MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	8
1.2.6 CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS .....	10
1.2.6.1 CRITICIDAD 1.....	10
1.2.6.2 CRITICIDAD 2.....	11
1.2.6.3 CRITICIDAD 3.....	11
1.2.7 AUDITORIA DE MANTENIMIENTO.....	13
1.2.7.1 LA ORGANIZACIÓN .....	13
1.2.7.2 DOCUMENTACION DE LA GESTION DEL MANTENIMIENTO.....	14
1.2.7.3 PLANIFICACION Y PROGRAMACION.....	14
1.2.7.4 SEGUIMIENTO DE TRABAJO.....	14
1.2.7.5 LA PRODUCTIVIDAD .....	15
1.2.8 INDICADORES DE MANTENIMIENTO .....	16
1.3 MARCO CONCEPTUAL .....	17

1.3.1	MANTENIMIENTO .....	17
1.3.2	MANTENIMIENTO CORRECTIVO .....	17
1.3.3	MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	17
1.3.4	MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	17
1.3.5	EQUIPO .....	18
1.3.6	SUBCONJUNTO .....	18
1.3.7	SISTEMA .....	18
1.3.8	INFORMANTE.....	18
1.3.9	MANUAL DEL INFORMANTE.....	19
1.3.10	SOLICITUDES .....	19
1.3.11	SOLICITUD DE ORDEN DE SERVICIOS (S.O.S.).....	19
1.3.12	ORDEN DE TRABAJO ( O.T.) .....	19
1.3.13	PLANEACION DE ORDENES DE TRABAJO .....	20
1.3.14	PLANEACION DE LA ORDEN DE TRABAJO .....	20
1.3.15	ALISTAMIENTO DE LA ORDEN DE TRABAJO .....	20
1.3.16	PROGRAMACION DE LA ORDEN DE TRABAJO.....	20
1.3.17	EJECUCION DE LA ORDEN DE TRABAJO .....	20
1.3.18	CIERRE DE ORDENES DE TRABAJO.....	20
1.3.19	NUCLEO ADMINISTRATIVO FINANCIERO .....	21
1.4	DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA.....	21
1.4.1	REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	21
1.4.2	PROBLEMA .....	24
1.4.3	JUSTIFICACION DEL PROBLEMA .....	24
1.5	OBJETIVOS.....	25
1.5.1	OBJETIVO GENERAL .....	25
1.5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	25
1.6	HIPOTESIS.....	25
1.6.1	HIPOTESIS GENERAL .....	25

## **CAPITULO II SITUACION ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN EL INGENIO AZUCARERO AGROINDUSTRIAL LAREDO S.A.A.**

2.1 LINEAMIENTOS GENERALES DE LA EMPRESA.....	27
2.1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL LAREDO S.A.A. ....	27
2.1.2 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	27
2.1.3 MISION Y VISION.....	29
2.1.4 DESCRIPCION DE LOS PRODUCTOS .....	30
2.1.5 DESCRPCION DEL PROCESO .....	30
2.2 LINEAMIENTOS DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DENTRO DE LA EMPRESA .....	40
2.2.1 MISION DE MANTENIMIENTO .....	40
2.2.2 VISION DE MANTENIMIENTO.....	40
2.2.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA Y UBICACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	41
2.2.3.1 ORGANIGRAMA DEL AREA DE MANTENIMIENTO .....	42
2.3 GESTION ACTUAL DE MANTENIMIENTO.....	43
2.3.1 POLITICAS DE MANTENIMIENTO .....	43
2.3.2 OBJETIVOS Y METAS .....	46
2.3.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO QUE SE APLICAN EN LA EMPRESA.....	48
2.4 REGISTRO E INDICADORES DE MANTENIMIENTO .....	52

## **CAPITULO III IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE ANALISIS VIBRACIONAL PARAMEJORAR EL MANTENIMIENTO EN LOS EQUIPOS CRITICOS**

3.1 LAS MAQUINAS Y LAS VIBRACIONES.....	73
3.2 CAUSAS DE LAS VIBRACIONES MECANICAS.....	74
3.3 EFECTOS DE LAS VIBRACIONES MECANICAS.....	75
3.4 PRINCIPIOS BASICOS PARA EL ANALISIS DE VIBRACIONES.....	76

3.4.1 MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE DE LOS CUERPOS .....	76
3.4.2 TEOREMA DE FOURIER .....	77
3.5 COMPONENTE DE UNA SEÑAL DE VIBRACIONES.....	78
3.5.1 DOMINIO DE TIEMPO.....	78
3.5.2 DOMINIO DE FRECUENCIA .....	79
3.5.3 ASPECTRO DE FASE .....	81
3.6 DESCRIPCION DEL PROCESO PARA EL ANALISIS DE VIBRACIONES.....	82
3.6.1 EQUIPOS NECESARIOS PARA EL ANALISIS DE VIBRACIONES .....	83
3.6.1.1 EQUIPOS DE MEDICION PARA LA TOMA DE DATOS .....	83
3.6.1.2 TIPOS DE SENSORES .....	84
3.6.2 TOMA DE DATOS .....	85
3.6.3 NORMAS INTERNACIONALES PARA EL CRITERIO DE SEVERIDAD .....	88
3.6.4 ANALISIS DE ESPECTRO .....	91
3.7 EQUIPOS CRITICOS.....	91
3.8 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL ANALISIS DE VIBRACIONES .....	93
3.9 RENTABILIDAD Y VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	97
3.10 CLASE MONITOREO PARA EQUIPOS DE LA EMPRESA .....	98
3.10.1 MONITOREO CONTINUO GENERAL.....	98
3.10.2 MONITOREO CONTINUO DE FRECUENCIA.....	99
3.10.2 MONITOREO PERIODICO .....	99
3.11 PERIODOS DE MONITOREO .....	100
3.12 SELECCIÓN DE EQUIPOS A SER MONITOREADOS .....	100
3.13 IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	103
3.14 CAPACITACION AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO .....	104

3.15 JUSTIFICACION TECNICA DEL PORQUE SE RECOMIENDA MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANALISIS DEVIBRACIONES EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL LAREDO S.A.A.....	105
3.16 COSTO DEL MANTENIMIENTO FUERA DE LO PROGRAMADO.....	106
3.17 MANO DE OBRA DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	106
3.18 ADQUISICION DEL EQUIPO DIGITAL Y CAMARA FOTOGRAFICA DIGITAL.....	107
3.19 CAPACITAR AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO EN USO DE EQUIPOS DIGITALES.....	107
3.20 DEPRECIACION DE LOS EQUIPOS DIGITALES.....	108
3.21 ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO .....	110

#### **CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 CONCLUSIONES .....	111
4.2 RECOMENDACIONES.....	114
4.3 ANEXOS.....	115
4.4 BIBLIOGRAFÍA .....	115

## FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL LAREDO S.A.A. ....	27
<b>FIGURA 2</b> ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA .....	41
<b>FIGURA 3</b> ORGANIGRAMA DEL AREA DE MANTENIMIENTO .....	42
<b>FIGURA 4</b> COMPONENTES MECANICOS DEL INGENIO AZUCARERO LAREDO S.A.A.....	73
<b>FIGURA 5</b> VIBRACION ARMONICA SIMPLE SENOIDAL CONTINUA ..	77
<b>FIGURA 6</b> a) VIBRACION CONTINUA DE MUCHA FRECUENCIA .....	77
b) VIBRACION IRREGULAR ( NO PERIODICA) .....	77
<b>FIGURA 7</b> COMPONENTES DE UN MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE.....	79
<b>FIGURA 8</b> GRAFICO DE UNA SEÑAL DE VIBRACIONES EN TRES DIMENCIONES .....	80
<b>FIGURA 9</b> GRAFICO DE UNA SEÑAL DE VIBRACION EN EL DOMINIO DEL TIEMPO AMPLITUD .....	80
<b>FIGURA 10</b> REPRESENTACION DEL ESPECTRO DE VIBRACIONES DE UNA SEÑAL DE VIBRACION .....	81
<b>FIGURA 11</b> DESCRIPCION DEL PROCESO PARA EL ANALISIS DE VIBRACIONES .....	82
<b>FIGURA 12</b> ANALIZADOR DE ESPECTROS HP 3530 A .....	84
<b>FIGURA 13</b> COLOCACION DE SENSOR DE VIBRACIONES EN a) direccion vertical    b) direccion horizontal    c) direccion axial.....	86

## CUADROS

<b>CUADRO 1 A CUADRO 12</b> PERDIDAS MENSUALES POR LA FALTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS EQUIPOS CRITICOS DURANTE AÑO 2011 .....	60
<b>CUADRO 13</b> PARTES DE LOS EQUIPOS CRITICOS QUE NECESITAN ANALISIS VIBRACIONAL.....	95

<b>CUADRO 14</b> CATEGORIA DE LAS MAQUINAS A PARTIR DE SU VELOCIDAD .....	89
<b>CUADRO 15</b> SEVERIDAD DE LOS EQUIPOS A PARTIR DE SU VELOCIDAD Y CLASE .....	90
<b>CUADRO 16</b> MATRIZ DE EQUIPOS CRITICOS PARA EL MONITOREO DE VIBRACIONES .....	92
<b>CUADRO 17</b> MONITOREO PARA EQUIPOS CRITICOS EN LA EMPRESA AZUCARERA LAREDO S.A.A.....	102
<b>CUADRO 18</b> MATRIZ DE APLICACIÓN DEL MONITOREO DE VIBRACIONES A EQUIPOS NO CRITICOS. ....	103
<b>CUADRO 19</b> COSTO DE MANTENIMIENTO FUERA DE LO PROGRAMADO.....	106
<b>CUADRO 20</b> MANO DE OBRA DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	106
<b>CUADRO 21</b> ADQUISICION DE EQUIPO DIGITAL Y CAMARA FOTOGRAFICA .....	107
<b>CUADRO 22</b> CAPACITAR AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	108
<b>CUADRO 23</b> DEPRECIACION DE LOS EQUIPOS DIGITALES .....	109
<b>CUADRO 24</b> JUSTIFICACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANALISIS DE VIBRACIONES .....	105

## **GRAFICOS**

<b>GRAFICO 1</b> FORMATO PARA ASIGNAR LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS.....	12
<b>GRAFICO 2</b> COMPARATIVO DE TIEMPO PERDIDO .....	56
<b>GRAFICO 3</b> NÚMERO DE PARALIZACIONES DICIEMBRE 2011 .....	57

## **REGISTROS**

<b>REGISTRO 1</b> DISTRIBUCION DEL TIEMPO PERDIDO POR AREA .....	54
<b>REGISTRO 2</b> EQUIPOS QUE HAN ORIGINADO EL 76% DE LOS PAROS- DICIEMBRE 2011 .....	55

## **DIAGRAMAS**

<b>DIAGRAMA 1</b> DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACION DEL AZUCAR .....	39
<b>DIAGRAMA 2</b> CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO.....	52
<b>DIAGRAMA 3</b> DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO PERDIDO Y MOLIENDA – NOVIEMBRE 2011 PERDIDAS MENSUALES POR LA FALTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS EQUIPOS CRITICOS DURANTE EL AÑO 2011 .....	59

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado en la Empresa Agroindustrial Laredo S.A.A para solucionar la problemática actual referente a las grandes pérdidas que se generan por el mantenimiento inadecuado de las máquinas que están en operación.

La metodología que se ha seleccionado para resolver el problema consiste en desarrollar un Programa de Mantenimiento Predictivo por análisis de Vibraciones en los equipos críticos.

Los fundamentos básicos en los que se basa el análisis de vibraciones son el movimiento armónico simple de los cuerpos y el Teorema de Fourier para poder realizar análisis de vibraciones en las máquinas de la empresa azucarera Laredo S.A.A.

La Empresa Agroindustrial Laredo S.A.A. posee una gran cantidad de equipos rotativos de diferentes grados de criticidad. Para determinar su grado de criticidad, se toman en cuenta los siguientes criterios: el costo del equipo, importancia dentro del proceso y complejidad de mantenimiento.

El mantenimiento predictivo considera a cada máquina por separado, sustituyendo las revisiones periódicas por medidas periódicas que pueden seguir en detalle el desarrollo del estado de funcionamiento de cada máquina en concreto. Con la medida regular de las vibraciones se puede detectar el nacimiento de irregularidades de las máquinas.

Un plan de mantenimiento predictivo (PMP) basado en análisis de vibraciones aplicado a máquinas rotativas en la empresa del presente estudio trae consigo muchas ventajas, tanto desde el punto de vista económico, como técnico. El Plan de Mantenimiento Predictivo por Analisis de Vibraciones mejorará la confiabilidad del mantenimiento al tener las máquinas y los equipos en buenas condiciones de funcionamiento, no existirán paros imprevistos, se cumplirán con las fechas de las programaciones, no se gastará dinero fuera de lo programado, los costos de producción seran competitvos.

## **ABSTRACT**

This research work has been developed in the Agroindustrial Laredo S.A.A to solve the current problems concerning the large losses that are generated by improper maintenance of the machines are in operation.

The methodology selected to solve the problem is develop a Predictive Maintenance Program by analysis of Vibrations in critical equipment.

Basic fundamentals that underpin the analysis of vibrations are simple harmonic motion of bodies and the Fourier Theorem to perform vibration analysis equipment for the sugar company Laredo S.A.A

La empresa Agroindustrial Laredo S.A.A. has a lot of rotating equipment of varying degrees of criticality. To determine the degree of criticality, are taken into account the following criteria: the cost of equipment, importance and complexity within the maintenance process.

Predictive maintenance considers each machine separately, replacing regular periodic review by measures that can follow in detail the development of the operating status of each particular machine. With the regular measurement of vibrations can be detected irregularities in the birth of the machines.

A predictive maintenance plan (PMP) based on vibration analysis applied to rotating machines in the company of this study brings many advantages, like a economically, and technically. Predictive Maintenance Plan to improve Vibration Analysis maintenance reliability by having the machines and equipment in good working condition, no unscheduled will exist, it will meet the dates of the programs, not spend money out of schedule, production costs will be competitive.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

#### 4.4. BIBLIOGRAFIA

1. Rosaler, Robert C. (2002). Manual del Ingeniero de Planta. Mac-Graw-Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V.
2. Bittel, L./Ramsey, J. (1992). Enciclopedia del MANAGEMENT. Ediciones Centrum Técnicas y Científicas. Barcelona, España.
3. [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com)
4. [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)
5. Rosaler, Robert C. (2002). Manual del Ingeniero de Planta. Mac-Graw- Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V.
6. Bittel, L./Ramsey, J. (1992). **Enciclopedia del MANAGEMENT.** Ediciones Centrum Técnicas y Científicas. Barcelona, España.
7. [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com)
8. [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)
9. Francisco Javier Gonzales Fernández “Teoría y Practica del Mantenimiento industrial avanzado” Editorial Fundación Confemetal- Madrid 2003.
10. Rey San Cristan Francisco “Manual del Mantenimiento Integral en empresa” FC Editorial -2001.