

UNIVERSIDAD DE MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD TECNOLOGÍA

CARRERA MECÁNICA INDUSTRIAL



MAESTRÍA EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA FRESADORA Y
TORNO CARRERA MECÁNICA INDUSTRIAL DE INSTITUTO
TECNOLÓGICO DON BOSCO

Tesis de Posgrado presentado para la obtención del grado de Maestría

POR: Lic. PABLO FELIPE SIRIPE

TUTOR: MSc. Ing, CARLOS ANDRADE MALLEA

LA PAZ – BOLIVIA

2018

DEDICATORIA

A mis Hijos: Pablo Reynaldo y Oriana Alejandra Siripe L.

Que me apoyaron mucho.

AGRADECIMIENTO:

Quiero brindar mi más sincero agradecimiento al M.Sc. Ing. Carlos Andrade Mallea, quien siempre me brindó las facilidades y la información para la realización de este trabajo.

Además, quiero agradecer al tribunal compuesto por Mgr. Daniel R. Campuzano B. y M.Sc. Lic. Edgar Quiroga Villca. Siempre me apoyaron en los trabajos propuestos, así como todo lo aprendido.

ÍNDICE GENERAL

INDICE	i,ii,iii
INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURA	v
ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii,viii
1 CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 MARCO INSTITUCIONAL.....	2
1.3 EQUIPAMIENTO DE LA INSTITUCIÓN	5
1.3.1 Taller de máquinas.....	5
1.4 ORGANIGRAMA DE LA INSTITUCIÓN.....	6
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.6 OBJETIVOS DE LA PRESENTE TESIS:.....	7
1.6.1 Objetivos.....	7
1.6.2 Objetivos específicos.....	7
1.7 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.7.1 Justificación técnica.....	8
1.7.2 Justificación económica	8
1.7.3 Justificación social.....	9
1.8 CONCEPTOS A SER UTILIZADOS.....	9
1.9 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.10 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.11 ALCANCES Y LIMITES.....	14
2 CAPITULO II MARCO REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 INTRODUCCIÓN	15
2.2 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO.....	17
2.3 MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS	18
2.4 CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	18
2.4.1 Mantenimiento correctivo	19
2.4.1.1 Proceso correctivo.....	21
2.4.2 Mantenimiento Preventivo.....	23
2.4.2.1 Formas de Aplicación	24
2.4.3 Mantenimiento rutinario	27
2.4.4 Mantenimiento Sistemático o Programado	28
2.4.5 Mantenimiento predictivo.....	29
2.4.5.1 Ventajas	30
2.4.5.2 Desventajas	30
2.4.6 Selección De un Plan de Mantenimiento.....	34
2.4.7 Análisis mediante mtf.....	39
2.4.8 Análisis de comportamientos.....	41
2.4.9 Limitación en la aplicación del mantenimiento predictivo	42
2.4.10 Mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración	42

2.4.10.1	Pasos para la aplicación del mantenimiento predictivo basado en el análisis vibraciones mecánicas	42
2.4.10.2	Obtención de la información de cada máquina	43
2.4.10.3	Análisis de datos técnicos	44
2.4.10.4	Definición del intervalo de frecuencia a medir	44
2.5	VIBRACIÓN	46
2.5.1	Frecuencia de la vibración	46
2.5.2	Amplitud de la vibración	47
2.5.3	Desplazamiento de la vibración [milésimas o micras]	48
2.5.4	Velocidad de la vibración	48
2.5.5	Aceleración de la vibración	48
2.5.6	Técnicas para el análisis de la vibración	48
2.5.7	Análisis de la vibración en función del tiempo	49
2.5.8	Nivel general de vibración overall	49
2.5.9	Análisis de espectros de frecuencia	50
2.5.9.1	Determinación de los niveles de vibración	51
2.5.9.2	Formas de medición por vibración	53
2.5.9.3	Niveles de bandas de frecuencias espectrales	53
2.5.10	Fallas más comunes en máquinas rotativas detectadas por el análisis de vibración	54
2.5.10.1	Desbalance	54
2.5.10.2	Desalineación	54
2.5.10.3	Excentricidad	55
2.5.10.4	holgura mecánica Se pueden dar 3 tipos de holguras mecánicas entre ellas se encuentran	55
2.5.10.5	Vibraciones producidas por torbellinos de aceite	56
2.5.10.6	Vibraciones por defectos en transmisiones de poleas correas	56
2.5.10.7	Vibraciones en engranajes	56
2.5.11	Análisis de rcm	57
2.6	TÉCNICA ULTRASONIDO	63
2.6.1	Introducción ultrasonido industrial	63
2.6.2	Principio de inspección ultrasónica	64
2.6.3	Aplicaciones	64
2.6.4	Ventajas	65
2.6.5	Limitaciones	66
2.6.5.1	Principios acústicos básicos	66
2.6.5.2	Principios acústicos básicos	67
2.6.5.6	Equipos	70
2.6.5.7	Pulso eco	71
2.6.5.8	Onda continua (transparencia)	71
2.6.5.9	Resonancia	71
2.6.5.10	Equipo básico pulso eco	71
2.7	NIVELACIÓN DE LAS MÁQUINAS - HERRAMIENTAS	74
2.7.1	Paquetes de chapas calibradas	75
2.8	IMPORTANCIA DE HIPÓTESIS EN UNA INVESTIGACIÓN	77
2.8.1	Técnicas de la investigación	78
2.9	CODIFICACIÓN DE MÁQUINAS Y EQUIPOS	78
2.9.1.2	Inventario de máquinas y equipos	81
2.9.1.3	Carta de lubricación	82
2.9.1.4	Control de lubricación	83
3	CAPITULO III - DESARROLLO DEL TRABAJO	88
3.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	88
3.2	ETAPAS DE APLICACIÓN	88
3.3	OBSERVACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	88

3.4	RECOPIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	89
3.4.1	<i>Inventario de máquinas y equipos</i>	89
3.4.2	<i>Inspecciones de las máquinas y equipos</i>	90
3.4.2.1	Ficha técnica	90
3.5	DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN.....	97
3.5.1	<i>Análisis de inclinación</i>	97
3.6	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	104
3.6.1	<i>Las características de una onda de sonido son (A., 2011):</i>	105
3.7	ANÁLISIS DE MEDICIÓN POR VIBRACIÓN	111
3.8	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	112
3.9	INTRODUCCIÓN	112
3.9.1	<i>Diagnóstico mediante análisis de vibraciones</i>	112
3.9.2	<i>Descripción de la medición y análisis de resultados</i>	113
3.9.2.1	Criterios de evaluación.....	113
3.9.3	<i>Normas de referencia</i>	113
3.9.4	<i>Maquinas contempladas en la iso 10816-3</i>	114
3.9.5	<i>Clasificación por grupos</i>	115
3.9.6	<i>Clasificación por flexibilidad del soporte estructural</i>	116
3.9.6.1	Criterio de evaluación i:.....	116
3.9.6.2	Toma de datos	117
3.9.6.3	Resultados de la medición.....	117
3.9.7	<i>Lubricación</i>	138
3.10	ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	139
4	ANÁLISIS DE COSTOS	141
4.1.1	<i>Costo semestre aproximado en intervenciones (CSAI)</i>	141
4.1.1	<i>Costo Semestral del Mantenimiento Predictivo (CS.pdm)</i>	143
4.1.1	<i>Costo de mediciones (cmed)</i>	143
4.1.2	<i>Tiempo de medición por maquina (tmed / maq)</i>	144
4.1.3	<i>Costo de mano de obra de toma de datos por hora (cmo/hrs)</i>	147
4.1.4	<i>Inspecciones por semestre (Ins/sem)</i>	147
4.1.5	<i>Costo total de mediciones (ctmed/sem)</i>	148
4.1.6	<i>Costo del diagnostico (cdiag)</i>	148
4.1.7	<i>Costo medio de diagnóstico por Activo (cmed/act)</i>	149
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN	151
5.1	CONCLUSIONES.....	151
5.2	RECOMENDACIÓN	153
6	BIBLIOGRAFÍA	153
6.1	ANEXOS.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha Técnica	80
Tabla 2. Inventario de Máquinas y Equipos.....	81
Tabla 3. Carta de Lubricación.....	82
Tabla 4. Control de Lubricación	83
Tabla 5. Datos Históricos de Máquinas y Equipos	84
Tabla 6. Costos de Mantenimiento por equipo	85
Tabla 7. Programa de Mantenimiento Predictivo	85
Tabla 8. Inspección de Máquinas y equipos	86
Tabla 9. Orden de Trabajo de Mantenimiento	87
Tabla 10. Inventario de Maquinas Tornos Paralelos.....	89
Tabla 11. Inventario de Máquinas Fresadoras y otros	90
Tabla 12. Ficha Técnica	91
Tabla 13. Carta de Lubricación.....	92
Tabla 14. Control de Lubricación	93
Tabla 15. Costos de Mantenimiento por Equipo.....	94
Tabla 16. Programa de Mantenimiento Predictivo	94
Tabla 17. Inspección de Máquinas y Equipos.....	95
Tabla 18. Orden de Trabajo de Mantenimiento	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Objetivo del Mantenimiento	17
Figura 2. Clasificación de mantenimiento	19
Figura 3. Aplicación de Mantenimiento Correctivo	20
Figura 4. Proceso de Mantenimiento Correctivo	21
Figura 5. Formas de Aplicación.	25
Figura 6. Aplicación del Mantenimiento Preventivo con Inspecciones Frecuentes	25
Figura 7. Aplicación del Mantenimiento Preventivo con Intervención sistemática	26
Figura 8. Aplicacion del Mantenimiento	26
Figura 9. Ilustra el modo de Monitorizado Continuo Δt se haría muy pequeño	31
Figura 10. Ilustra el modo de monitorizado continuo Δt se haría muy pequeño.	32
Figura 11. Realización Mantenimiento Preventivo.....	34
Figura 12. Realización Mantenimiento Preventivo.....	38
Figura 13. Distribuciones en dos Poblaciones	39
Figura 14. Aplicación de los Diferentes tipos de Mantenimiento según la forma de las distribuciones de las fallas.	40
Figura 15. Análisis de Comportamiento	41
Figura 16. Frecuencia de la Vibración	47
Figura 17. Amplitud de la Vibración	47
Figura 18. Ondas en el tiempo	49
Figura 19. Análisis de los espectros de frecuencia	51
Figura 20. Principio de inspección ultrasónica	64
Figura 21. Diferencia del sonido en función de su duración.....	67
Figura 22. Sistema de Prueba Pulso Eco.....	72
Figura 23. Especificaciones de las chapas calibradas para maquinaria	76
Figura 24. Estructura del código de equipos.....	79
Figura 25. Nivelación del torno en posición longitudinal y transversal	100
Figura 26. Medición del giro concéntrico del husillo principal	101
Figura 27. Estabilidad axial del árbol principal	101
Figura 28. Giro concéntrico del cono interior y paralelismo en el árbol principal	101
Figura 29. Giro concéntrico de la punta en el árbol principal.....	102
Figura 30. Paralelismo del eje trabajo a la bancada en posición vertical.....	102
Figura 31. Reglas del movimiento longitudinal.....	102
Figura 32. Paralelismo entre bancada y cabeza móvil	103
Figura 33. Paralelismo de la pínula a la bancada en el piano horizontal y vertical	103
Figura 34. Cono de la pínula paralela a la bancada.....	104
Figura 35. Verificación del desgaste de guías de la bancada y posicionamiento del escote.....	104
Figura 36. Equipo Ultrasónica	105
Figura 37. Ondas Sonoras	106
Figura 38. Elementos del equipo ultrasonido.....	107
Figura 39. Detectores de Ultrasonido en el cuerpo de la MEC-FR-02	107

Figura 40. Inspecciones Ultrasónicas.....	109
Figura 41. Resultados de las inspecciones	110
Figura 42. Resultados de las inspecciones	111
Figura 43. Teclado del Equipos de Vibración.....	111

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Preparación para el anclaje	97
Fotografía 2. Proceso de nivelado	98
Fotografía 3. Proceso de nivelada mesa de trabajo máquina fresadora	99
Fotografía 4. Proceso de nivelada el cuerpo de la máquina fresadora	100

ANEXOS

1. ORGANIGRAMA DE LA INSTITUCIÓN
2. PLAN DE MANTENIMIENTO

RESUMEN

El uso de la tecnología del mantenimiento predictivo en las maquinas fresadora y torno de instituto Tecnológico Don Bosco. En esta tesis primero se realizó una adecuada identificación de los problemas que nos dificultan la maximización de la función de las máquinas fresadoras y tornos a través del análisis predictivo con técnicas de vibración, ultrasonido e inclinómetro se pudo evidenciar síntomas, fallas, causas y defectos.

Al identificar las fallas y defectos se pudo establecer la criticidad de cada una de ellas y el impacto que produce en el proceso de enseñanza y aprendizaje, mantenimiento, máquinas paradas y aumento de tiempos improductivos en cada máquina de la institución.

Mediante estructuración de la metodología a lo largo del desarrollo del tema se determinaron las siguientes estrategias de mantenimiento para la eliminación de las causas de las fallas identificadas.

Optimización del mantenimiento preventivo

- Implementación del mantenimiento predictivo
- Identificación de mejoras en las instalaciones de la institución.
- Sugerir personal de mantenimiento a cargo del almacén

Como resultado de la aplicación de la metodología se espera lograr incrementar la vida útil de los componentes de las máquinas mencionadas, así como la disponibilidad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias, incrementando así la mejora en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la carrera Mecánica Industrial de la institución Tecnológico Don Bosco.

ABSTRACT

The use of predictive maintenance technology in the milling and lathe machines of the Technologic Don Bosco institute. In this thesis we first made an adequate identification of the problems that make it difficult for us to maximize the function of the milling machines and lathes through predictive analysis with vibration, ultrasound and tilt meter techniques.

We could show symptoms, faults, causes and defects .

By identifying faults and defects, the criticality of each of them and the impact it produces on the teaching and learning process, maintenance, stopped machines and increase of unproductive times of each machine of the institution could be established.

Through the development of the methodology throughout the development of the theme, the following maintenance strategies were determined for the elimination of the causes of the faults identified.

Optimization of preventive maintenance

- Implementation of predictive maintenance
- Identification of improvements in the facilities of the institution.
- Suggest a maintenance staff and in charge of the warehouse

As a result of the application of the methodology, it is expected to increase the useful life of the components of the aforementioned machines, as well as their availability by reducing failures and their consequences, thus increasing the improvement in teaching and learning processes. the Mechanical Industrial career of the Don Bosco Technological Institution.

I CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

En el actual el mundo globalizado en que vivimos, las instituciones y las empresas buscan constantemente nuevas metodologías y políticas de mantenimiento, para reducir sus costos de producción y ser más competitivo, de esa manera mantener su supervivencia en el contexto local y nacional.

Las empresas y las instituciones, cada vez más deben implementar metodologías y políticas de mantenimiento para ser más competitivo. Las instituciones netamente de formación técnica, tecnológica y productiva como ser: Pedro Domingo Murillo, Ayacucho, Mejillones, Brasil Bolivia, Bolivia Mar, Don Bosco, Etc. tienen un gran desafío en realizar un ajuste en su administración, para poder funcionar bajo la nueva ley, que regula a este sector.

Por lo tanto se ha visto la necesidad de desarrollar e implementar un plan de mantenimiento que tenga nuevas técnica y filosofía actuales de mantenimiento, que a través del tiempo garantice la prestación funcional de la institución, que realizado bajo un sistema de gestión racional bien estructurado, sea un verdadero aporte para que las instituciones dedicadas a la formación técnica, tecnológica y productiva; de manera que puedan bajar sus costos operativos, y lleguen a ser sostenibles en el tiempo y puedan brindar un servicio de calidad a toda la población estudiantil en su área de concesión. Siendo fundamental que este plan se adecue a las necesidades básicas que se tiene en los equipos que posee la institución, teniendo en cuenta que nunca han tenido un plan de mantenimiento, y tampoco se ha trabajado bajo ninguna filosofía de mantenimiento, y el plan tenga una plena aplicabilidad en la realidad actual que vive la institución.

Para implementar un plan de mantenimiento predictivo, es necesario identificar herramientas que sean de gran utilidad y se vea la conveniencia de adquirirlas o de contratar los servicios de empresas terceras en periodos de tiempo cíclicos que aporten

información que pueda utilizarse para poder establecer una planificación que atienda las necesidades que la institución actualmente las necesita. Las herramientas y los equipos necesarios con las que será desarrollada la presente tesis, han sido alquiladas por el tesista, para establecer y demostrar que lo planteado es fundamental para que se tenga sostenibilidad y desarrollo. Estamos seguros que todo lo planteado en esta tesis tiene mucha importancia y relevancia para su aplicación; de manera que todo lo recopilado pueda ser aplicado e implementado a partir de la conclusión de esta tesis.

1.2 MARCO INSTITUCIONAL

El instituto Tecnológico Don Bosco de la ciudad de El Alto, es una institución educativa de convenio con el estado y tiene siguientes cualidades:

Misión

“Ser un modelo de excelencia académica en la formación integral de profesionales técnicos superiores en el área industrial a nivel nacional, con un servicio innovador que inserte a los jóvenes al desarrollo sostenible local, regional y nacional.”

Visión

“Ser un modelo de excelencia académica en la formación integral de profesionales técnicos superiores en el área industrial a nivel nacional, con un servicio innovador que inserte a los jóvenes al desarrollo sostenible local, regional y nacional.”

Valores Humanos

Formar jóvenes con principios en la puntualidad el respeto porque esta manera se caracteriza la institución porque esta va paralelamente junto con sus conocimientos y los valores, y esto es muy importante para nuestros jóvenes y para el bien de la educación.

Objetivo general de la nueva constitución política del estado

La Nueva Constitución Política del Estado formula como objetivo de la educación: “la formación integral de las personas y el fortalecimiento de la conciencia social crítica en la vida y para la vida. La educación estará orientada a la formación individual y colectiva; al desarrollo de competencias, aptitudes y habilidades físicas e intelectuales que vincule la teoría con la práctica productiva; a la conservación y protección del medio ambiente, la biodiversidad y el territorio para el vivir bien”

Por ello, el objetivo general que se busca en la Carrera de Mecánica Industrial es:

Formar profesionales técnicos competitivos de Nivel Superior en Mecánica Industrial con conocimientos científico-tecnológicos, sociales e integrales que respondan a las necesidades y exigencias de la industria y al avance de la ciencia y la tecnología, optimizando procesos productivos integrados en la industria y aplicando normas y estándares establecidos, para contribuir al desarrollo industrial local, regional y nacional, respetando el medio ambiente, la sociedad intercultural y plurinacional.

Objetivos específicos de la institución:

- Implementar los planes y programas del diseño curricular de la nueva ley Avelino Siñani y Elizardo Pérez.
- Formar integralmente a los estudiantes al estilo salesiano de Don Bosco.
- Desarrollar actividades de producción que incentiven el emprendimiento de microempresarios y empresarios para el desarrollo personal y de nuestro estado plurinacional.

Justificación de la institución:

La formación profesional del futuro mecánico industrial asume un nuevo desafío en la actualidad. Hace décadas la formación del técnico superior en mecánica general estaba

basada netamente en la operación de máquinas o herramientas. En la actualidad, en los países industrializados como España y Brasil se forman mecánicos industriales con conocimientos actualizados y avanzados en el control y automatización del sector productivo; en el manejo de programas para operar máquinas a control computarizado; en la elaboración de sistemas y en el monitoreo del mantenimiento industrial. Al mismo tiempo, se los prepara en conocimientos precisos y actualizados de software para el diseño de máquinas y tecnología que, a su vez, posibilitan la construcción de las mismas.

- Dentro la revolución productiva, en especial en el campo de la explotación, transformación y transporte de recursos petrolíferos, nuestro país necesita profesionales técnicos que posean el conocimiento de la instalación de gas industrial o gas natural a domicilio.
- Como resultado de las exigencias nacionales sobre la caracterización de qué tipo de profesionales debe formar la carrera de Mecánica Industrial en el país, urge la necesidad de crear menciones o especialidades de titulación. En base a la demanda de las empresas productivas y de servicio.

Ámbito educativo

- Este es un aspecto muy importante porque la educación parte desde la casa para luego pasar a una educación de conocimientos donde se va formando las habilidades y destrezas, donde el conocimiento te va preparando y te va formando como una persona preparada lista para la inserción en la sociedad.

La carrera Mecánica Industrial tiene un taller de máquinas herramientas, taller de procesos de soldadura, laboratorio de control numérico computarizado, almacén de herramientas, laboratorio de neumática e hidráulica etc.

La institución tiene de 2400 estudiantes contando todas las carreras: secretariado, Informática, contaduría, administración de empresas, artes gráficas y audiovisuales, electricidad, mecánica automotriz y la carrera mecánica industrial, la carrera tiene un total de 196 estudiantes distribuidos en 8 cursos distribuidos en mañanas y tardes con un plantel docente de 13 personas, formando profesionales competitivos en la institución tecnológico Don Bosco ubicado en ciudad de El Alto avenida s/n villa Tejada Rectangular, Plaza Don Bosco.

1.3 EQUIPAMIENTO DE LA INSTITUCIÓN

1.3.1 TALLER DE MÁQUINAS

Cuadro 1. Máquinas Herramientas

ITEM	DESCRIPCIÓN	ESTADO DE FUNCIONAMIENTO
1	Fresadora Vertical	REGULAR
2	Fresadora Universal	REGULAR
3	Fresadora Universal	REGULAR
4	Fresadora Vertical	BUENO
5	Fresadora Vertical	BUENO
6	Fresadora Vertical	BUENA
1	Torno Paralelo	MALA
2	Torno Paralelo	INHABILITADO
3	Torno Paralelo	REGULAR
4	Torno Paralelo	REGULAR
5	Torno Paralelo	INHABILITADO
6	Torno paralelo	REGULAR
7	Torno paralelo	INHABILITADO
8	Torno paralelo	REGULAR
9	Torno paralelo	INHABILITADO
10	Torno paralelo	REGULAR
11	Torno paralelo	REGULAR
12	Torno paralelo	REGULAR
13	Torno paralelo	REGULAR
14	Torno paralelo	INHABILITADO

15	Torno paralelo	REGULAR
16	Torno paralelo	REGULAR
17	Torno paralelo	REGULAR
1	Cortadora de planchas	REGULAR
1	Dobladora de planchas	REGULAR
1	Taladro de pedestal	REGULAR
2	Taladro de pedestal	REGULAR
3	Taladro de pedestal	REGULAR
1	Esmeril	REGULAR
2	Esmeril	REGULAR

1.4 ORGANIGRAMA DE LA INSTITUCIÓN

El organigrama con todas sus jerarquías se muestra en el anexo 1

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo al diagnóstico realizado, una gran parte de las máquinas herramientas se encuentran en mal estado como se observa en el cuadro 1, que detalla el estado de las máquinas herramientas, que no están funcionando de manera adecuada. Es decir que los equipos están cada vez más deteriorados y lamentablemente no se tiene un plan de contingencia, por lo que pudo identificar que no se tiene ningún plan de mantenimiento para basarse como referencia, así también se tiene un cambio de personal constante de docentes y directores de carrera; otro aspecto fundamental que se suma es el de no existir ningún registro de mantenimiento o control de manera que los problemas mencionados, ocasionan paradas imprevistas y deterioro en los equipos, perjudicando en el procesos de aprendizaje y enseñanza hacia los estudiantes.

1.6 OBJETIVOS DE LA PRESENTE TESIS:

Los objetivos que se persiguen con la presente investigación son:

1.6.1 OBJETIVOS

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo a todos los equipos la carrera de mecánica industrial, a través del uso de herramientas de análisis de fallas y modos de falla, aplicando técnicas predictivas como son el ultrasonido, vibración y medición de inclinación en las máquinas herramientas, para detectar problemas y fallas incipientes, de manera que, con un plan adecuado, se pueda obtener índices elevados de disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con todas las técnicas planteadas, será posible aplicar en las máquinas:

- ✓ Realizar el diagnóstico de las máquinas herramientas
- ✓ Monitorizar las pruebas de evaluación aplicando técnicas de vibración, ultrasonido e inclinación.
- ✓ Generar una línea base para obtener un historial útil de los equipos.
- ✓ Identificar fallas y síntomas con el análisis RCM
- ✓ Implementar mejores prácticas de mantenimiento en una institución.

1.7 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de investigación aportará de manera efectiva al mejoramiento continuo e incrementará la confiabilidad en las máquinas herramientas de la carrera mecánica industrial.

1.7.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

En la institución se ha comprobado que no se tiene un control adecuado de las máquinas herramientas, habiendo comprobado que no existen registros que demuestren lo contrario y no se tiene un plan de mantenimiento que se apliquen a los equipos.

El cambio de personal constante y la falta de responsables del control a las máquinas han llevado a descuidar este aspecto de gran importancia.

El plan de mantenimiento predictivo en la carrera mecánica industrial plantado se basará en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de las máquinas herramientas, utilizando herramientas de análisis de fallas, modos de falla, análisis de criticidad de fallas que son parte del RCM; de la misma forma se aplicará las técnicas de vibración, ultrasonido y el correcto montaje de las máquinas, que será usada para una base sustentable y permitirá el mejoramiento continuo y la conservación adecuada de las máquinas que se tiene.

1.7.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El hecho de que los equipos sufran constantes daños por falta de mantenimiento, hacen inoperables a varios de éstos, siendo estos activos mermados en su vida útil y la inversión realizada está siendo afectada en su retorno y utilidades que se esperaban al ser implementados.

El hecho de implementar un plan de mantenimiento significará la inversión de recursos tanto para la investigación como para la puesta en práctica, que serán analizados y demostrados en su rentabilidad.

Esta tesis será desarrollada con recursos económicos propios en la etapa de la investigación, para demostrar que los objetivos planteados en la tesis son sustentables en el tiempo. Se tiene previsto de alquilar o contratar los instrumentos de una empresa externa especializada en el tema, que tenga equipos de última generación.

La institución I.T.D.B. no incurrirá en ningún gasto económico en la etapa de la investigación y tendrá una propuesta económica sólida para el futuro desarrollo de su gestión anual de funcionamiento.

1.7.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Al implementar un plan de mantenimiento predictivo, la institución será beneficiada en el uso adecuado de sus equipos, los cuales favorecen a una densa población estudiantil, quienes a través del aprendizaje estarán adquiriendo una cultura de la conservación de los equipos.

Socialmente se beneficia la institución, la carrera mecánica industrial, la población estudiantil e implícitamente el ministerio de educación al obtener un estudio basado en el análisis de RCM, y este estudio pueda ser usado en otras instituciones similares del sistema nacional.

1.8 CONCEPTOS A SER UTILIZADOS

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en un área industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazan la rentabilidad de las compañías aéreas, posteriormente fue trasladada al campo industrial a finales de los años 90.

El mantenimiento centrado en fiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones. Preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de

ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Durante ese análisis de fallos debemos contestar a seis preguntas claves:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
2. ¿Cómo falla cada equipo?
3. ¿Cuál es la causa de cada fallo?
4. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
5. ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
6. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber:

Fase 0:

Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de fichas técnicas, esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1:

Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2:

Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos, revisión de componentes críticos por niveles

Fase 3:

Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

Fase 4:

Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.

Fase 5:

Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6:

Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y bitácoras.

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas, aplicación de un plan piloto y posterior evaluación, es la base para un plan inicial.

1.9 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El mantenimiento predictivo es una alternativa de mejora en la gestión de mantenimiento para la carrera mecánica industrial, que le permitirá mejorar la prestación de servicios en cuanto a la calidad educativa, tecnológica y productiva.

El fundamento técnico que se busca, es tener un control adecuado de todos los parámetros que se hacen un correcto funcionamiento de los equipos, siendo las técnicas propuestas las más modernas, las cuales garantizan que se tenga estándar de clase mundial en la institución.

La relación entre las variables a estudiar es correlacional, definida de acuerdo a la siguiente relación proposicional:

$$R = f(t)$$

Y viene definida por el siguiente enunciado:

“El resultado de las pruebas realizada de una técnica predictiva, determinará su resultado”

Dónde:

R= Resultados de cada técnica.

t= tiempo obtenido en las pruebas.

En esta afirmación los tipos de variables son:

Variable independiente.

Se define por el tiempo de trabajo de cada máquina hallado en las distintas pruebas vibración y ultrasonido.

Variable dependiente.

Es el mantenimiento realizado por cada máquina correspondiente.

El tipo de hipótesis es experimental, ya que está ligada a los resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas a las máquinas herramientas, durante su operación normal. Por lo tanto, se muestra que al desarrollo de la tesis que con la implementación de la técnica se demuestra que con el tiempo que transcurra se incrementará la vida útil de las máquinas y prevenir la evolución de las fallas, síntomas y desgaste de las máquinas en el transcurso de los tiempos.

1.10 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología a utilizar será del tipo descriptiva y experimental, en cuanto se refiere al tiempo, será de tipo prospectiva.

El sitio a desarrollar la investigación es en un centro de formación educativa, que tiene en sus ambientes la maquinaria en las cuales se van a aplicar la parte experimental.

Los elementos de la investigación más importantes a desarrollar son los equipos que tiene el centro de formación, y como parte de los sujetos dentro de la investigación, están los alumnos y el personal que administra dichas instalaciones.

La recolección de datos se hará mediante registros normalizados para el tipo experimental, así como encuestas y procesamiento de la información.

El muestreo tendrá que ser de los equipos más representativos en una población que son el total de máquinas dentro del instituto de formación.

Los límites de confianza tendrán que estar por encima del 95% para el monitoreo de los equipos, dado que las calibraciones de los instrumentos de medición serán fundamentales en la toma de datos en la prueba experimental.

El monitoreo de los sistemas dependerá de variables fijas y predeterminantes, que serán sujeto de evaluación, basados en el análisis de fallas y síntomas.

Análisis de criticidad de las fallas se refiere a establecer niveles de importancia para ser atendidos o referenciar el grado de una falla que afecte a la integridad del equipo o una pieza del mismo y poder identificar las causas que provocan paradas imprevistas perjudicando el normal desenvolvimiento de las actividades académicas y productivas.

El análisis de la tesis se realizará en las máquinas herramientas como son los tornos y fresadoras, con el propósito de determinar que anomalías o factores provocan el mal funcionamiento y/o pérdida de precisión en las máquinas herramientas.

Cuando se fabrica los elementos mecánicos en la mayoría de trabajos los resultados son poco precisos y hasta de mala calidad. Estos errores son ocasionados por mal montaje, mala calibración, falta de mantenimiento y otros problemas que conllevan a resultados insatisfactorios para la institución.

La tesis demostrará estas apreciaciones, aplicando las técnicas análisis de vibración, ultrasonido e inclinación en los montajes y nivelación de cada una de las máquinas.

1.11 ALCANCES Y LIMITES

El presente estudio abarcará a máquinas Fresadoras y Tornos en su alcance, ya que estos equipos son los más importantes en su enfoque de criticidad de la institución. En total existen 20 tornos y 6 fresadoras, de los cuales van a ser analizados y monitoreados en su condición, los más importantes para la etapa experimental, para que, en base a la información tabulada, se conforme adecuadamente un plan bien estructurado de aplicación práctica, que en el futuro utilice la institución como parte de su gestión de operaciones.

2 CAPITULO II MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Resulta innegable aceptar la vigencia y entidad propia que ha adquirido el mantenimiento; pasando de una tarea de reparación en determinado equipo, a una potencial herramienta para la disminución de costos provocados por la utilización temporal de los equipos y por las paradas de producción. Esta rápida evolución es manifestada en un continuo desarrollo de las metodologías de mantenimiento, dirigidas a conseguir mejores y más eficientes operaciones en las industrias, convirtiéndolo de esta manera en uno de los factores más importantes de fiabilidad y calidad de los productos.

Despreciando durante muchos años y relegado a simples tareas de reparación, el mantenimiento actual se constituye y vuelve cada vez más importante en la definición y participación de las estrategias globales de las empresas; habiendo desarrollado considerablemente el modo de cómo encarar su función en la industria.

Con la creciente necesidad de maximizar el desempeño de todo el sistema productivo y minimizar los costos de producción, el área de mantenimiento se revela como un sector clave para alcanzar niveles de optimización en todo proceso, integrándose a un conjunto de acciones para la reducción de los tiempos improductivos independientemente de la proliferación cada vez mayor de equipos complejos y variados.

El mantenimiento de sistemas productivos asume una relevancia creciente en la industria debido a la complejidad de las maquinas en funcionamiento productivo y la relación con los diferentes componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos, térmicos y sistemas informáticos; debiendo realizar su acción a lo largo de todo el ciclo de vida del objeto, desde especificaciones hasta su ``desactivación``.¹

¹ Principios y fundamentos de la ingeniería de mantenimiento - Ramiro Peralta Urfa 2da edición pagina5

Definición del mantenimiento.

El mantenimiento es un concepto que se ha incorporado definitivamente en la actual terminología industrial y social, y las actividades que le corresponden son tan importantes, dentro y fuera de la industria, como pueda serlo cualquiera de las actividades productivas. No obstante, resulta difícil establecer una definición con carácter general, ya que no existe una especificación estandarizada.

Así se pueden encontrar varias definiciones de Mantenimiento; por lo que se expondrán algunos enunciados por autores de destacada trayectoria moderna en este campo.

Klijn A. – 2000 ``Mantener no solo significa tener el equipo funcionando, sino tenerlo en la más alta condición de servicio. Con ello el equipo y la compañía pueden y cumplirán con las severas condiciones impuestas por los reglamentos técnicos y las normas medioambientales``.

Cabral J. S. – 1998 ``La combinación de acciones de gestión, técnicos y económicas, aplicadas a los bienes para la optimización de su ciclo de vida, entendiéndose por bien el conjunto concebido para asegurar una determinada función``.²

Queda claro que es posible encontrar tantas definiciones gramaticales de la función mantenimiento como persona que las expresen, pero sin duda, todas llevan explícitas el mismo concepto. No obstante, se adoptará la siguiente por considerarla la más completa y extendida.

Mantenimiento es el conjunto de actividades técnicas de aplicación directa, organizativas y de control económico que satisfacen diversas condiciones. Con éstas, se pretende conservar o restablecer un equipo o instalación, de manera que su vida productiva sea la más prolongada posible, asegurando un determinado servicio con un costo mínimo y la máxima seguridad.

² Bouchy, F. El mantenimiento en España. - ISBN 848143160-España, 1999

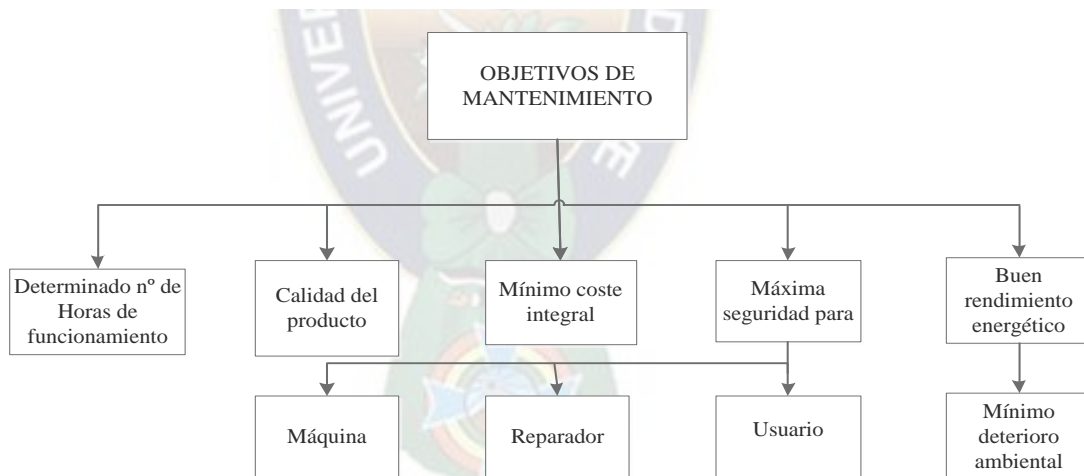
2.2 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO

Optimizar los procedimientos y actuaciones de manera que los objetivos de la carrera se puedan alcanzar más fácilmente, con la condicionante de que la suma de los costos de mantenimiento sea mínima.

El mantenimiento es ante todo y sobre todo un servicio sus Políticas, objetivos y de manera de actuar deben ajustar a las políticas, objetivos y estructura de la institución o empresa y deben desarrollarse y evolucionar con la misma.

La consecución de un número determinado de horas disponibles de funcionamiento de la planta o maestranza, instalación, máquinas o equipo en condiciones de calidad de fabricación o servicio exigible con el mínimo costo y el máximo de seguridad para el

Figura 1. Objetivo del Mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

personal que utiliza y mantiene las instalaciones y maquinaria, con mínimo consumo energético y mínimo deterioro ambiental.

- **Horas de funcionamiento:** Según el programa de mantenimiento especificado.
- **Calidad del producto:** Dato que aporta el responsable de calidad.

- **Mínimo costo integral:** Son los costos de mantenimiento que se dan en la institución, dependiendo del tipo del tipo de institución y el grado de desgaste y envejecimiento de sus instalaciones.
- **Máxima seguridad:** Es la eficacia de la seguridad determinada por dos indicadores; el índice de frecuencia y el índice de gravedad.
- **Buen rendimiento energético:** Es la eliminación de las pérdidas de energía, atentan penosamente a la economía de la institución.
- **Mínimo deterioro ambiental:** No producir ataques y agresiones al medio ambiente.

2.3 MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS

Lleva un control detallado de activos, actualiza y consulta bitácoras de manera simple al tiempo que administras actividades de mantenimiento preventivo y correctivo con control de gastos centralizado en máquinas herramientas.

2.4 CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO

En general y una de las clasificaciones sumamente genérica, puede establecerse que son tres los grupos grandes de tipos de mantenimiento los que se aplican:

- El que actúa una vez aparecida la avería (correctiva).
- Los que tratan de predecirla o prevenirla antes de su aparición.
- Los que tratan de eliminarla de una forma permanente.

Figura 2. Clasificación de mantenimiento



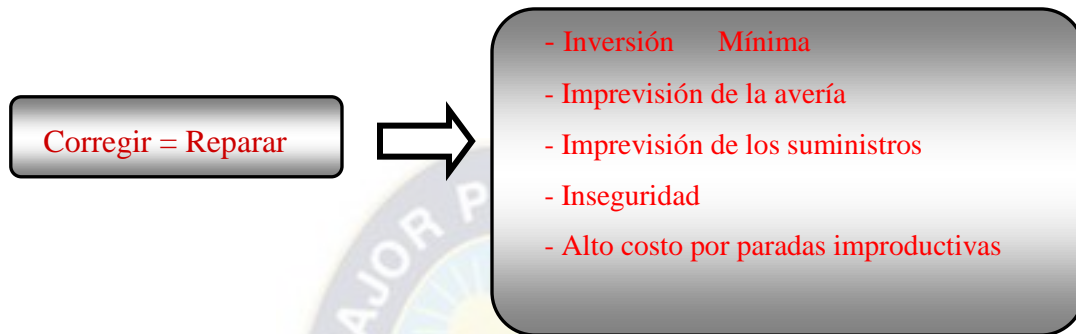
Fuente: Ramiro Uría Peralta

2.4.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

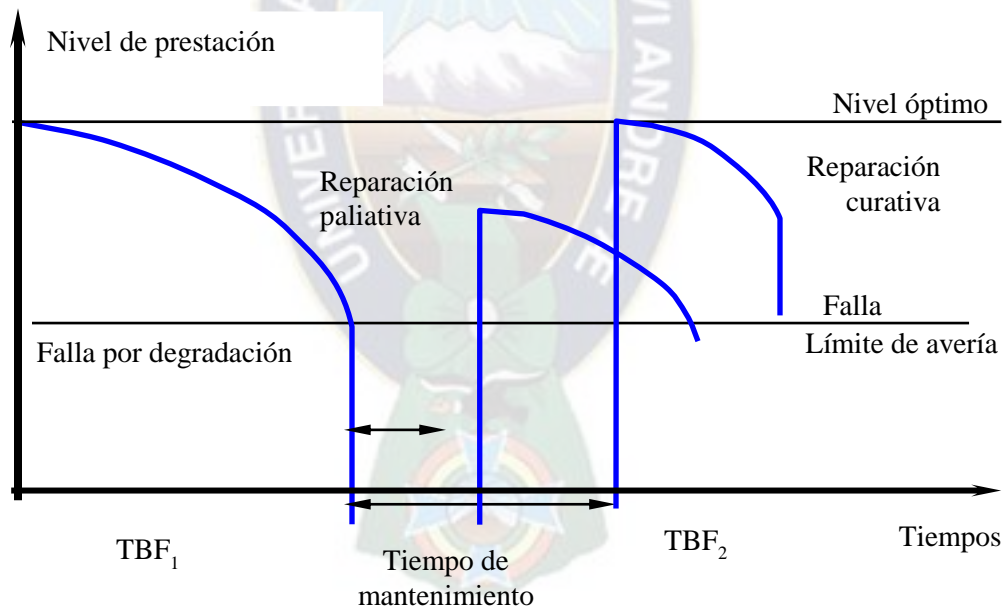
Con este tipo de mantenimiento se utiliza la maquinaria hasta que sobreviene la falla, si bien el término falla es ambiguo, como se estableció anteriormente falla o avería será el descanso en el nivel de prestaciones de un material por debajo de una cota que se establece como mínimo aceptable. Este umbral dependerá del tipo de aplicación, nivel de seguridad requerido, etc.

El mantenimiento queda reducido a la reparación y, por tanto, las inversiones que comparte son mínimas;

Figura 3. Aplicación de Mantenimiento Correctivo



Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto



Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto

Al realizar un análisis de este tipo de procedimiento, se observa de dos posibilidades de actuación, es decir, reparaciones paliativas o provisionales, que en ocasiones pueden ser no muy rentables (p. ej. Reparaciones en campo cuando la avería no es grande), y

reparaciones curativas o definitivas, en las que se establece un nivel óptimo prestaciones.

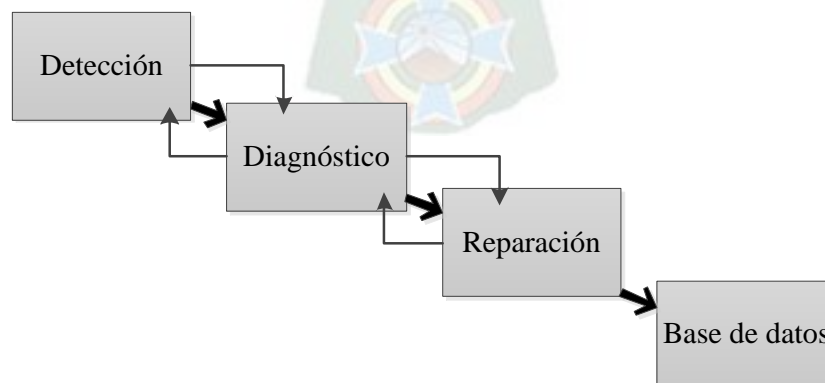
Debe tener en cuenta que la carga de trabajo es muy irregular, por lo cual, es normal contar con un pequeño equipo para reparaciones en campo (equipos móviles) y el grueso de la unidad en el taller. En ocasiones cuando la carga de trabajo es excesiva o la importancia de la avería es grave, se contratan los servicios externos de organizaciones especialistas.

2.4.1.1 PROCESO CORRECTIVO

La forma de proceder al aplicar este mantenimiento consiste en:

- ⇒ **1º Detección de la avería:** Análisis del mal funcionamiento de la máquina, identificación de la zona de responsable, recopilación de síntomas.
- ⇒ **2º Diagnóstico:** Averiguar a través de síntomas, la localización y causa de la falla, buscar la relación síntoma-avería y encontrar el origen último de esta finalmente hay que decidir el mejor tratamiento.
- ⇒ **3º Reparación:** Recuperar la propiedad del sistema.
- ⇒ **4º Archivo en historia:** Esto permitirá la búsqueda de averías repetitivas.

Figura 4. Proceso de Mantenimiento Correctivo



Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto

También es posible hablar de dos niveles de aplicación del mantenimiento correctivo;

1º como método único: La aplicación de este sistema cuando únicamente se efectúa mantenimiento correctivo, sin utilizarlo como complemento de cualquier otro tipo de mantenimiento, se presenta cuando la máquina funciona sin que se actúa sobre ella, hasta que sobreviene la falla.

- La adopción de este sistema de mantenimiento en exclusiva resulta interesante o solo se justifica en los siguientes casos:
- Cuando los costos indirectos de la falla son mínimos y los requerimientos de seguridad sean pequeñas o lo permitan.
- Cuando la empresa está constituida por máquinas en la que los paros eventuales no son críticos para la producción.
- Cuando la empresa adopta una política de renovación frecuente del material.

Por el contrario, se han comentado ya parte de sus desventajas:

- Imprevisión de la avería, imprevisión de suministros, y personal de reparación.
- Reparación más extensa al poder dañarse otros elementos en un proceso de falla en cadena.
- Mayor duración de la reparación al tener que buscar los daños y él rigen de la avería.
- Costo alto por periodos de improductividad largas.

2º Como complemento del preventivo: En este, cualquiera que sea el nivel de prevención adoptado subsistirá inexorablemente una parte de fallas residuales que entrenarán acciones correctivas. La complicidad de métodos correctivos con preventivos, en un punto óptimo de coexistencia, reduce los gastos inherentes al primero.

2.4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este método de mantenimiento consiste en efectuar las intervenciones en las máquinas y equipos antes de que se produzca la avería y reducir la probabilidad de falla antes de que ocurra. Es necesario crear una metodología a fin de poder definir las frecuencias de las intervenciones en cada máquina o equipo, y en ello efectuar intervenciones previstas, preparadas y programadas antes de la fecha probable de aparición de la falla.

Hay que tener en cuenta que, sea cual sea la naturaleza y el nivel de mantenimiento preventivo puesto en práctica, subsistirá irremediablemente un porcentaje de fallas residuales que requerirán de intervenciones correctivas.

En general persigue como objetivo:

- Aumentar la fiabilidad de los equipos y por tanto reducir fallas en servicio, reducción de los costos de falla, mejora de la disponibilidad.
- Aumento de la vida eficaz del equipo, mejorando la planificación y el orden en el trabajo, y con ello la relación producción - mantenimiento.
- Garantizar la seguridad.

Así mismo se puede conseguir las siguientes ventajas durante su implementación:

- Disminución de la frecuencia de las paradas aprovechando para realizar varias reparaciones al mismo tiempo.
- Aprovechamiento del momento más oportuno, tanto para producción y como mantenimiento, para realizar las reparaciones.
- Preparación y aprovisionamiento de los útiles y piezas de recambio necesarias.

- Distribución del trabajo de mantenimiento de una manera más uniforme evitando puntas de trabajo y optimizando la planilla.
- Evitar averías mayores como consecuencia de pequeñas fallas, en particular en los sistemas de seguridad.

Se puede distinguir dos tipos de actuaciones o acciones diferentes dentro del mantenimiento preventivo:

1º intervenciones: conjunto de actividades de mantenimiento encaminadas a la sustitución de componentes, piezas, etc. Independientemente de su estado; para ello se utiliza un método sistemático y organizado de forma que no se produzcan interferencias o sean las menos posibles con los programas de producción, este procedimiento se conoce también como mantenimiento programado o sistemático.

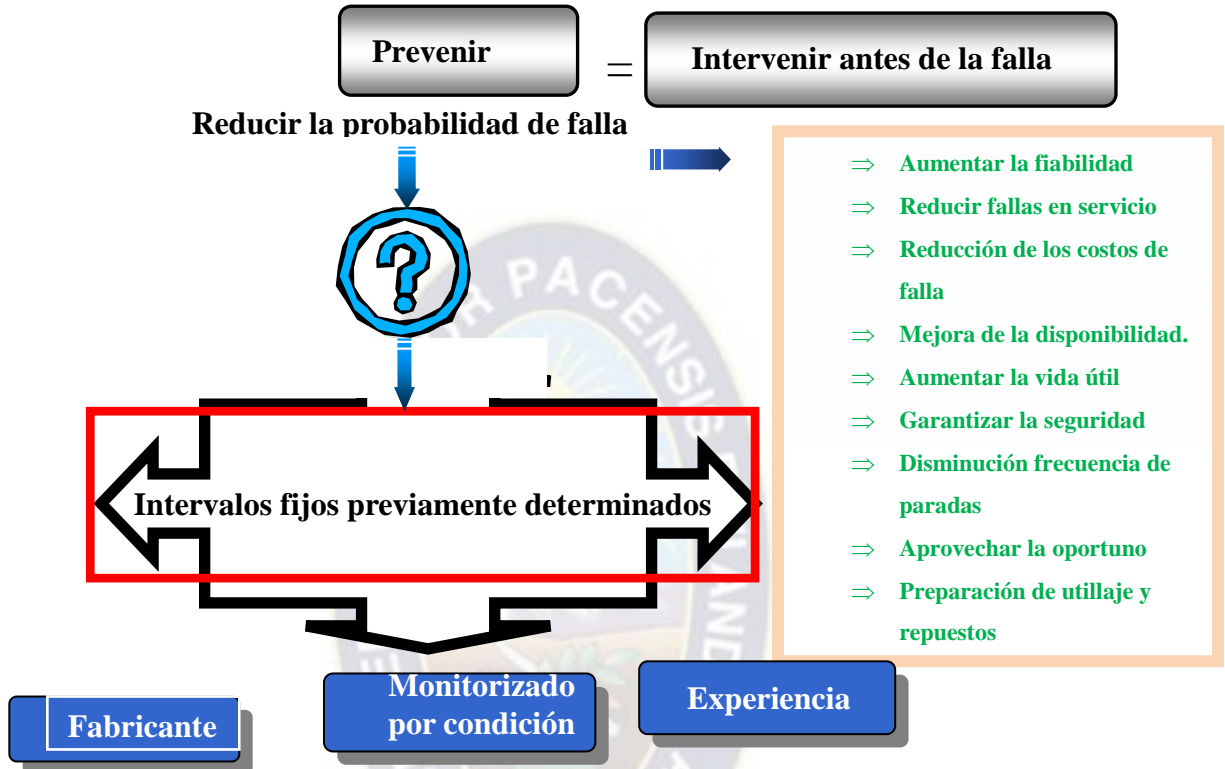
2º inspecciones: Su objetivo es detectar síntomas en la maquinaria y equipos, normalmente mientras están funcionando, mediante una inspección visual de la misma y su entorno o anotando alguno de sus parámetros característicos (temperaturas, presiones, etc.). este procedimiento se conoce como mantenimiento predictivo.

2.4.2.1 FORMAS DE APLICACIÓN

Más que formas debería referirse a fases, ya dependiendo de las características de la maquinaria debe recurrirse a por lo menos una de ellas, de esta manera se pueden distinguir dos fases en la aplicación del mantenimiento preventivo a una máquina:

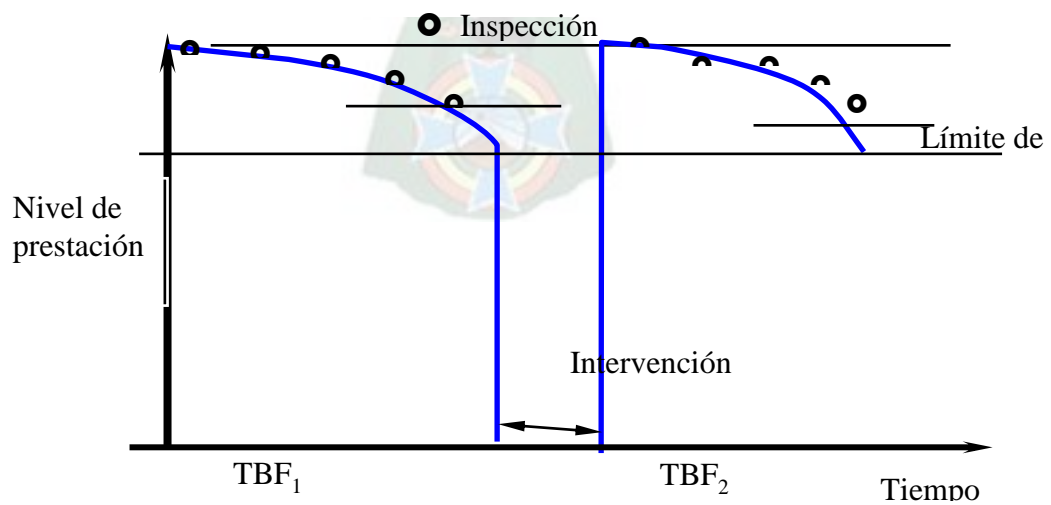
1º en equipos nuevos, o tras mejoras y cambios, cuando la ley de degradación de los sistemas sea desconocida.

Figura 5. Formas de Aplicación.



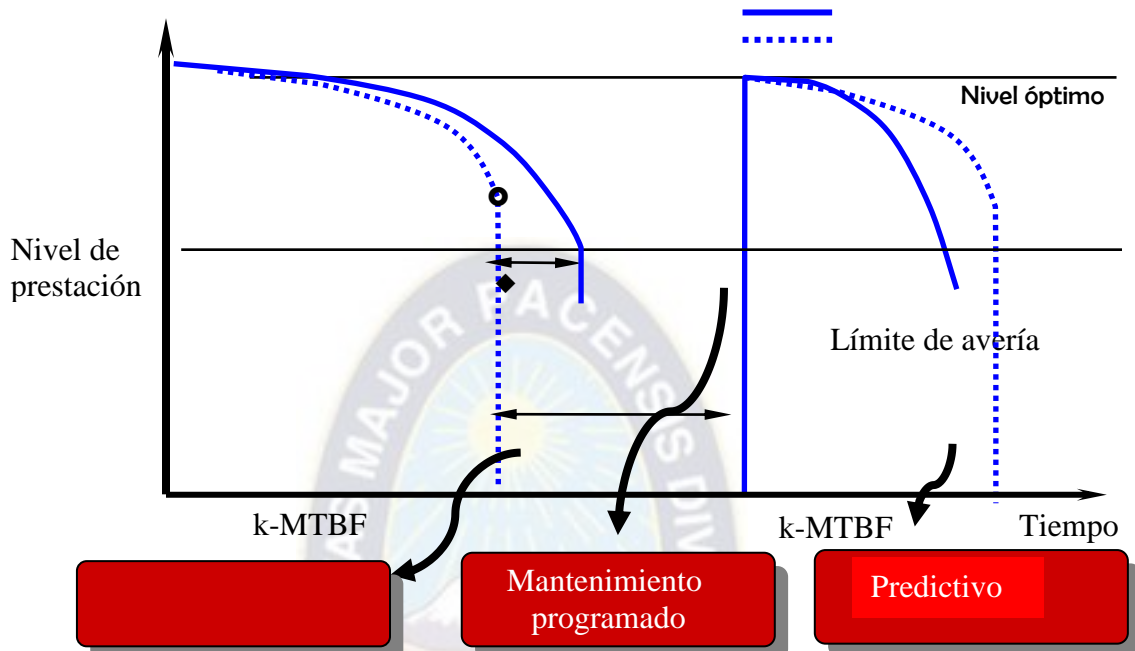
Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto

Figura 6. Aplicación del Mantenimiento Preventivo con Inspecciones Frecuentes



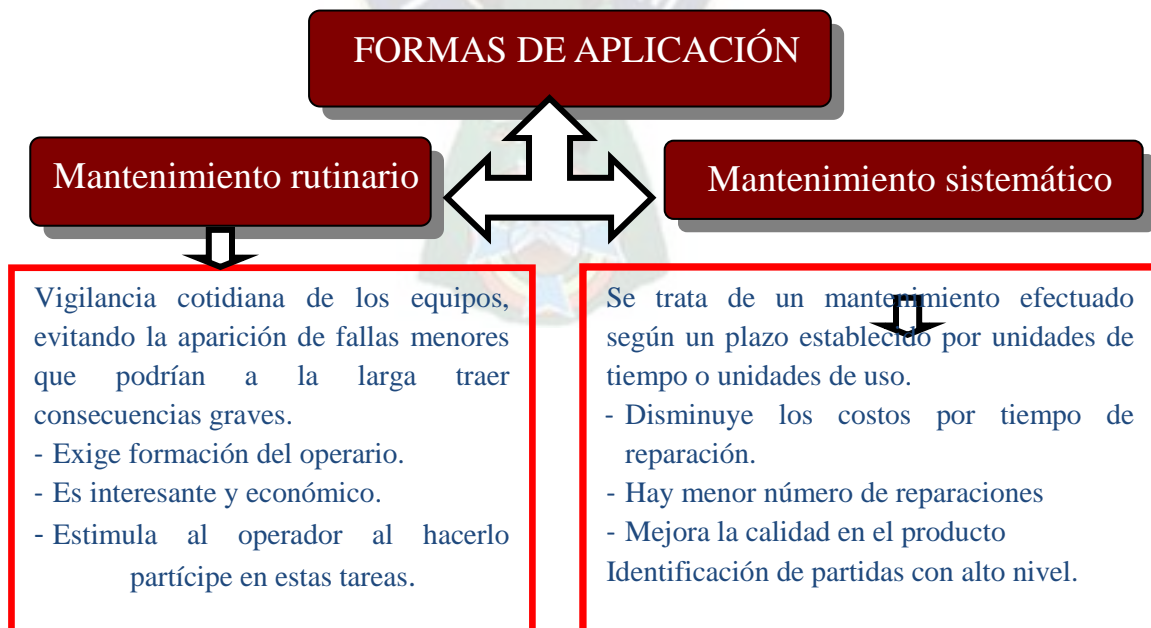
Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto

Figura 7. Aplicación del Mantenimiento Preventivo con Intervención sistemática



Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto

Figura 8. Aplicación del Mantenimiento



Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto.

Es posible establecer el momento óptimo de intervención sobre el elemento en mantenimiento preventivo evoluciona así hacia el mantenimiento sistemático o programado, como se ve más fácil de gestionar, en el sentido de que tiene menos carga de trabajo, si bien tal como se aprecia en la Figura 7. Aplicación del mantenimiento preventivo con intervención sistemática en las intervenciones antes de tiempo o producir una intervención correctiva por ser más rápida la degradación real que prevista.

Dos formas de mantenimiento preventivo serian:

- **Mantenimiento rutinario:** Inspecciones frecuentes con intervenciones preventivas ligeras por parte del operario.
- **Mantenimiento predictivo:** Una forma evolucionada del preventivo, con una frecuencia elevada de monitorizado, intentado alargar al máximo las intervenciones. Analizando a fondo estas formas de mantenimiento preventivo, se tiene el desarrollo de los siguientes apartados.

2.4.3 MANTENIMIENTO RUTINARIO

Es el realizado por el operario; asegura una vigilancia cotidiana de los equipos, evitando la aparición de fallas menores que podrían a la larga traer consecuencias graves. Es la parte preventiva del “entrenamiento” tradicional.

Exige la formación adecuado del operario, pero resulta muy interesante; a la vez que estimula al operario al hacerlo participe en estas tareas. Consiste en rutinas como:

- Apriete del tornillo.
- Ajuste de niveles.
- Llenado de líquidos. (lubricación sistemas de engrase)

- Realización de pequeñas pruebas.
- Detección visual de fugas.
- Detección de ruidos anormales y olores.

2.4.4 MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO O PROGRAMADO

Se ha comentado que se trata de un mantenimiento efectuado según un plazo establecido por unidades de tiempo o unidades de uso. En el que además de las ventajas ya vistas se puede afirmar que:

- Disminuye los costos por tiempo de reparación (todo está programado, localizado y el material necesario preparado).
- Hay menor número de reparaciones.
- Disminuye los costos de reparaciones ya que los desperfectos no son de gran cuantía y requieren menor mano de obra.
- Mejor calidad en el producto.
- Identificación de partidas con alto costo de mantenimiento lo que nos llevará a investigar y corregir causas como:
 - ❖ Aplicación inadecuada.
 - ❖ Abuso del operador.
 - ❖ Obsolescencia de equipos.

No debe olvidarse que el mantenimiento sistemático es, por otra parte, costoso debido a las paradas de inspección (esto puede ser importante en unidades de funcionamiento

continuo). Además, se desaprovecha una vida residual difícil de prever por lo que implica una metodología para el conocimiento de las técnicas.

- **Ámbito de aplicación;** El mantenimiento preventivo sobre todo a:

- ❖ Equipo de costo de falla elevada.
- ❖ Equipos, incluso menores, donde la falla puede tener un carácter grave
- ❖ Equipos de donde la parada es de larga duración.
- ❖ Equipos donde la falla puede poner la seguridad de operario o usuario.
- ❖ Equipos sometidos a control de la legislación (caldera, material de alta presión o alta temperatura.)

Por último, comentar que pueden presentarse fallas derivadas de un mal montaje al hacer el mantenimiento, lo cual es contraproducente.

2.4.5 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Dado el desarrollo que ha tenido el mantenimiento predictivo, se considera en muchas empresas como un complemento ideal del mantenimiento preventivo, siendo que es una variante del mismo. También es conocido como mantenimiento preventivo “según condición” o según estado

Este modelo de mantenimiento consiste en predecir el estado y grado de fiabilidad de una máquina o instalación sin necesidad de pararla. Para ello se recurre a determinadas técnicas que permiten la realización de mediciones de parámetros críticos en las mismas. Las mediciones efectuadas se comparan con los patrones de funcionamiento correcto, bien definidos por el fabricante o por el departamento de mantenimiento, para de esta forma detectar y analizar las variaciones encontradas. Estas señales, debidamente tratadas y analizadas deben diagnosticar el tipo de falla que se está produciendo, donde

se produce y su severidad. Con esta información, se está en disposición de planificar adecuadamente y con antelación las paradas y reparaciones.

Su principal ventaja viene de ajustar con mayor precisión el ciclo de vida real de los componentes susceptibles de recambio o renovación. Sin embargo, los inconvenientes que presenta son los elevados costos de los sofisticados equipos de medida y la cualificación técnica del personal que realiza dichas medidas y debe interpretarlas. Entre las técnicas más difundidas aplicadas al mantenimiento preventivo por condición se tiene; análisis de vibraciones, análisis de lubricantes, termografía, ensayos no destructivos, etc.

2.4.5.1 VENTAJAS

- Seguimiento de la evolución de la falla hasta que sea peligroso. Elimina gran parte de la indeterminación.
- Programación de paradas. reducción de costos por baja producción.
- Programación de repuestos y mano de obra.
- Reducción de tiempos de reparación al tener identificada la avería.
- Maximiza la seguridad.
- Elevada disponibilidad de equipos.

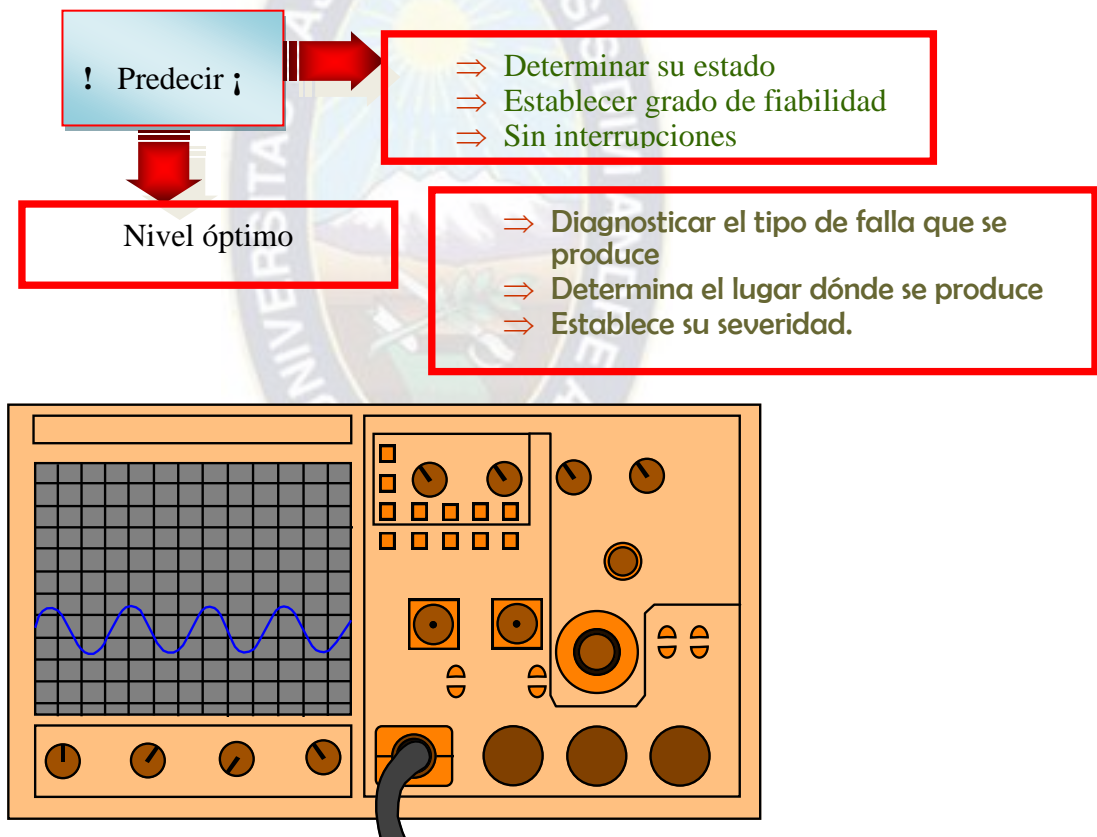
2.4.5.2 DESVENTAJAS

- Inversiones costosas en equipamientos de adquisición y tratamiento de la información.
- Generación de gran cantidad de información.

- Limitación en el estado actual de estas técnicas, cuando no son bien monitoreadas.

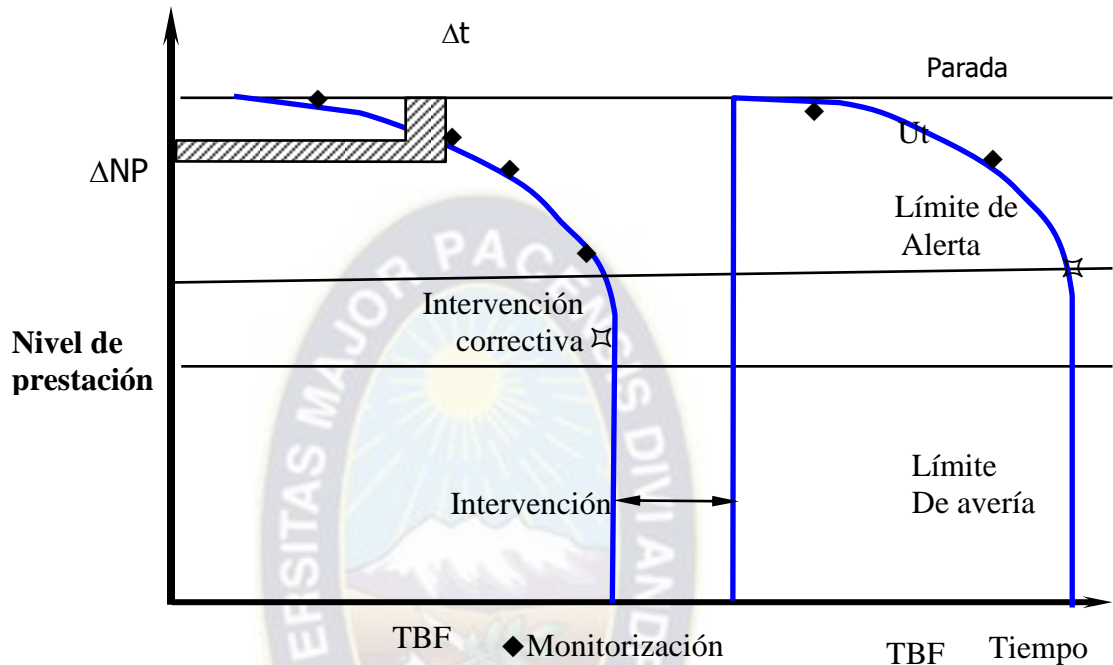
El mantenimiento predictivo utiliza técnicas que permiten monitorizar el síntoma durante el funcionamiento normal de la máquina. En este caso de monitorización discontinua, los intervalos de inspección deben ser menores que el tiempo de progresión de la falla; de otra manera el monitorizado podría ser inútil.

Figura 9. Ilustra el modo de Monitorizado Continuo Δt se haría muy pequeño



Fuente: Dr. Peralta Uría

Figura 10. Ilustra el modo de monitorizado continuo Δt se haría muy pequeño.



Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto.

Para maquinaria crítica, en el tratamiento de los procesos de falla por degradación tanto los aleatorios como los dependientes del tiempo, es una herramienta óptima siempre que exista el modelo predictivo de la falla.

Existe una serie de tipos de falla que son los fundamentales para el mantenimiento predictivo. La mayor parte de estos mecanismos de falla producen unos efectos inmediatos que casi siempre conducen a:

- Grietas
- Fracturas
- Deterioro superficial
- Pérdida de material

A su vez, y durante el funcionamiento de la maquinaria, estos efectos se manifiestan mediante:

- Vibraciones
- Ruido
- Cambio de características estructurales
- Variación de temperatura
- Aparición de residuos
- Cambios en las prestaciones de las máquinas
- Fugas

La relación existente entre las manifestaciones externas y los mecanismos de falla es la base del mantenimiento predictivo. Siempre que a través de una manifestación sensible se puede encontrar el origen de una falla y su severidad, se dispondrá de una herramienta útil de diagnóstico y predicción del mismo.

Existen técnicas de detección de estos síntomas como:

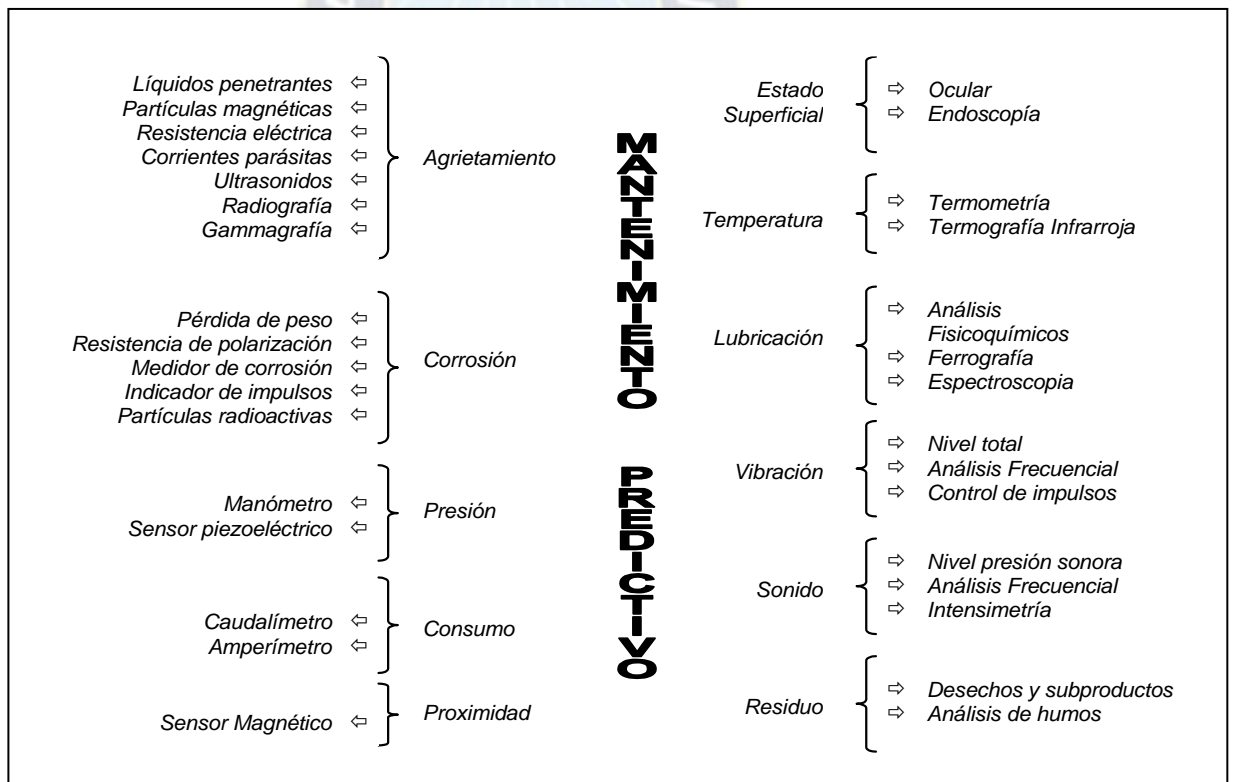
- Barnices frágiles
- Ultrasonidos
- Partículas magnéticas
- Líquidos penetrantes
- Análisis de ruido y vibración
- Análisis de lubricantes

- Análisis de aguas
- Termografía infrarroja

El mantenimiento predictivo utiliza estas técnicas que permiten monitorizar el síntoma durante el funcionamiento normal de la máquina.

En el caso de monitorización discontinua, los intervalos de inspección deben ser menores que el tiempo de progresión de la falla; de otra manera el monitorizado podría ser inútil.

Figura 11. Realización Mantenimiento Preventivo.



Fuente: Dr. Peralta Uría Principio de mantenimiento

La selección del mantenimiento como una actividad de apoyo auxiliar, ha sido una carga pesada que ha costado mucho eliminar y que incluso no está totalmente desechada, la

época en que la disponibilidad lo pagaba todo está pasando a un segundo plano en favor de la rentabilidad de la disponibilidad.

A lo largo de los apartados desarrollados se ha establecido a la función mantenimiento como un instrumento excelente para mejorar la competitividad de las empresas, en la que su misión fue evolucionando tecnológicamente hasta quedar enfocada en la actualidad:

- Asegurar la disponibilidad operacional de los equipos (correctivo, preventivo, operaciones de vigilancia, control, inspecciones, revisiones parciales o totales y reconstrucción).
- Mejorar los equipos e instalaciones productivas en forma continuo (a través de modernizaciones o mejoras para reducir costos mantenimiento y producción).
- Controlar y supervisar los trabajos nuevos y los contratos por terceros (trabajos de construcción, instalaciones, control de servicios contratados).

De esta forma, las empresas necesitan revisar sus métodos de trabajo y organizaciones, afectando a las funciones de producción y mantenimiento.

Aparecieron adicionalmente a las desarrolladas: el TQM (Total Quality Maintenance), el RCM (Reliability Centered Maintenance), CMMS (Computerised Maintenance Management System), el mantenimiento clase mundial, el mantenimiento estratégico, el mantenimiento oportunidad, las terciarizaciones, el Benchmarking y otros³. Como herramienta de mantenimiento, y seguramente a continuación apareciendo nuevas técnicas basándose en las experiencias que se desarrollan en las distintas empresas.

En definitiva, con todo lo referido hasta ahora surge una gran interrogante:

³ Tovares, L.; Administración moderna de Mantenimiento, Ed. Novo Polo, Brasil-2001
Kardec, A.; Nascif J, X.; Manutenco- Funcao Estrategica, Ed, Quality Mark, Brasil - 2001

¿Cómo se determina el tipo de mantenimiento a seguir?

Existen múltiples tendencias para establecer los sistemas de mantenimiento y generalmente se seleccionan atendiendo a la política de la empresa y los requerimientos de calidad, seguridad y mercado, además de las características del proceso productivo, en principio un sistema de mantenimiento bien diseñado debe adecuarse a las características de cada máquina lográndose un sistema de mantenimiento alterno, tanto a nivel de fábrica como a nivel de máquina, en ese sentido se han desarrollado varios procedimientos empleando criterios de selección generalmente a nivel de máquina.

Sin embargo, lo primero que se debe hacer en cualquier procedimiento a seleccionar, es marcar los objetivos que se persiguen con el mantenimiento, estos han de ser compatibles con los de la empresa y variarán de una a otras, ejemplos de objetivos podrían ser:

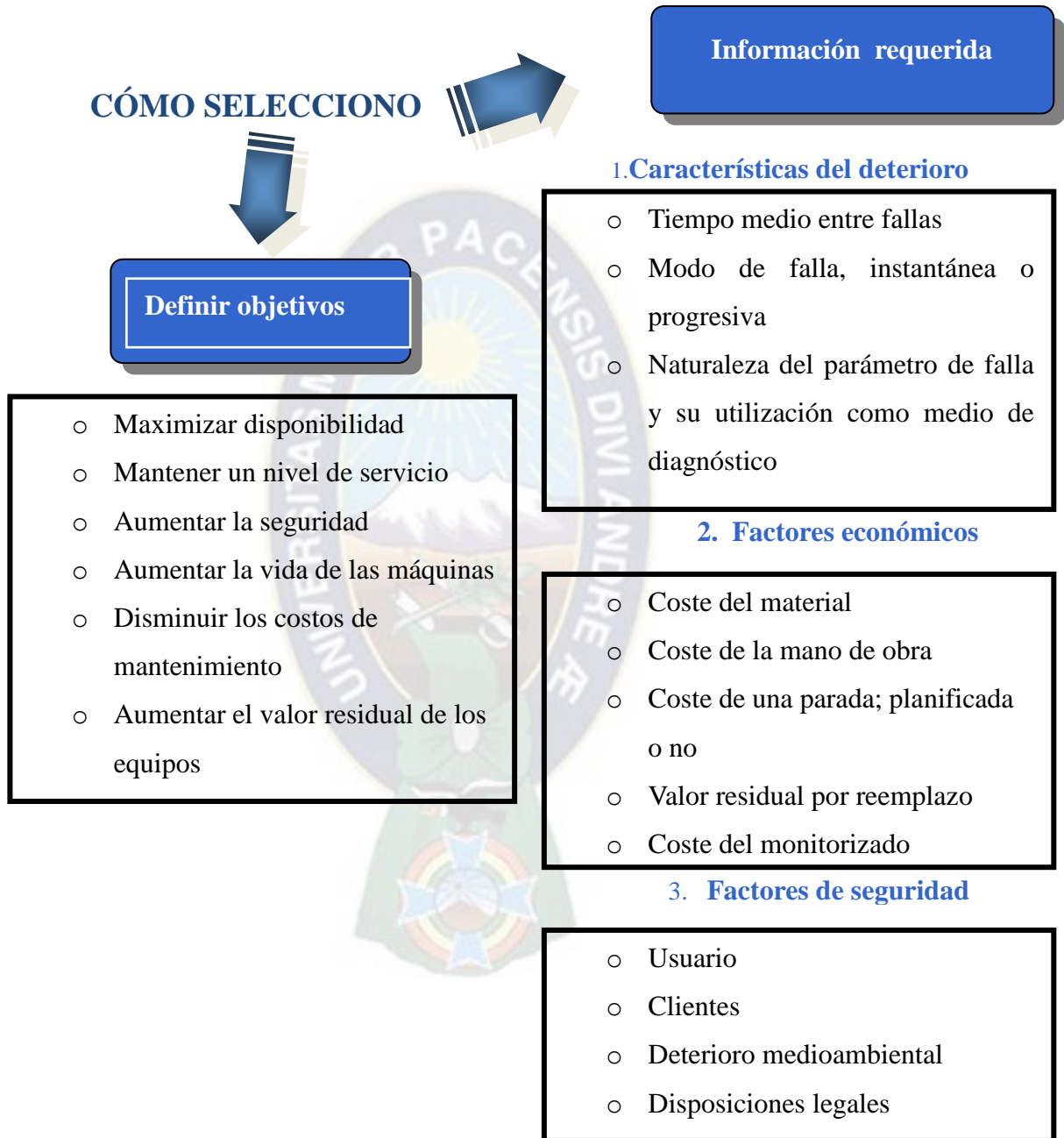
- Maximizar la disponibilidad de equipos.
- Mantener un nivel de servicio.
- Aumentar la seguridad.
- Aumentar la vida útil de las máquinas.
- Disminuir costos de mantenimiento.
- Aumentar el valor residual de los equipos.

Además, debe tener en cuenta que para la elección de un plan de mantenimiento se requiere de la siguiente información:

- Características del deterioro de los equipos.
 - o Tiempo medio entre fallas.

- Modo de falla; instantáneo o progresiva.
 - Naturaleza del parámetro de falla y su potencial utilización como medio de diagnóstico.
 - Tiempos de reparación.
- Factores económicos:
- Costo de material.
 - Costo de la mano de obra.
 - Costo de una parada: planificada o no planificada.
 - Costo de indisponibilidad de los equipos.
 - Valor residual por remplazo antes de falla.
- Costo de los Factores de seguridad:
- Usuario.
 - Cliente.
 - Deterioro medio ambiental.
 - Disposiciones legales

Figura 12. Realización Mantenimiento Preventivo.



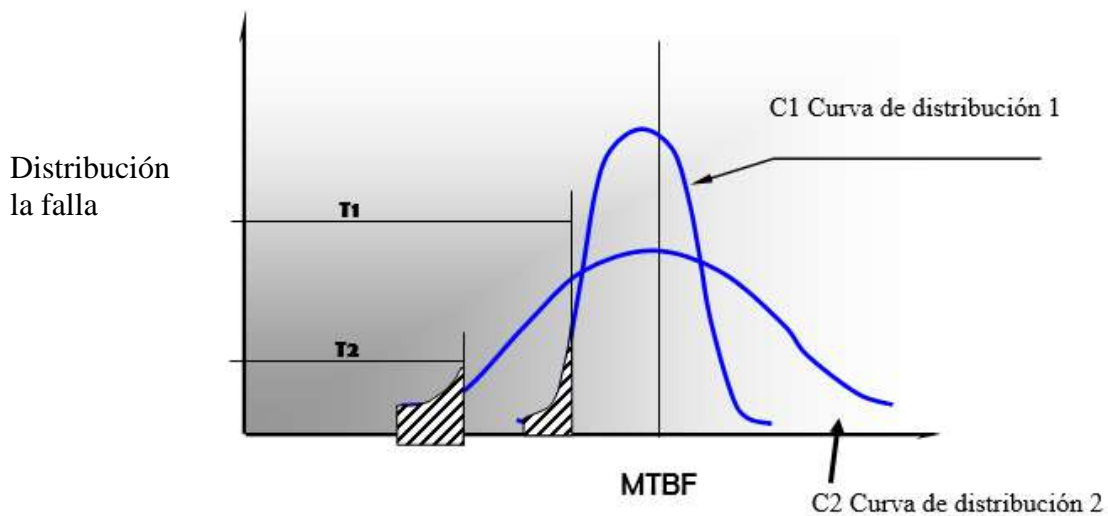
Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto.

2.4.7 ANÁLISIS MEDIANTE MTBF

Se estudia como aspecto técnico más destacado la influencia de la distribución del tiempo medio entre fallas (MTBF) en la elección de una política de mantenimiento.

- Inspecciones preventivas permiten acumulan información.
- Entonces será fácil conocer el instante recomendable para un cambio sistemático.

Figura 13. Distribuciones en dos Poblaciones



Fuente: Autor Ramiro Peralta Uría

Como se ha visto las acciones preventivas permiten acumular información relativa al comportamiento del material. Si los resultados ponen evidencias una clara ley de degradación, será fácil de reconocer el instante en el que será recomendable efectuar un cambio sistemático. A manera de ejemplarizar esta forma de selección, se supone una distribución normal para la vida de un elemento como la que aparece en la siguiente Figura 13. (distribuciones de dos poblaciones) En la que la varianza es el valor crítico de estas decisiones. Para ello se comparan dos distribuciones normales con la misma media (es decir, con el mismo MTBF) y varianzas distintas.

Si se fija, 10% de mantenimiento correctivo residual, esto es, que el 10% de las fallas aparezcan antes de la intervención preventiva, se observa que en la distribución C1 se intervendrá en T1; mientras que en la C2 se intervendrá en T2, periodo demasiado cortó que nos conduce a una pérdida de utilidad potencial muy importante. Para el mismo MTBF (tiempo medio entre fallas), una gran dispersión nos aleja de la elección de un plan sistemático.

Con esta filosofía, y sin considerar otras condiciones de seguridad y costo, es posible confeccionar la siguiente selección y clasificación de mantenimiento.

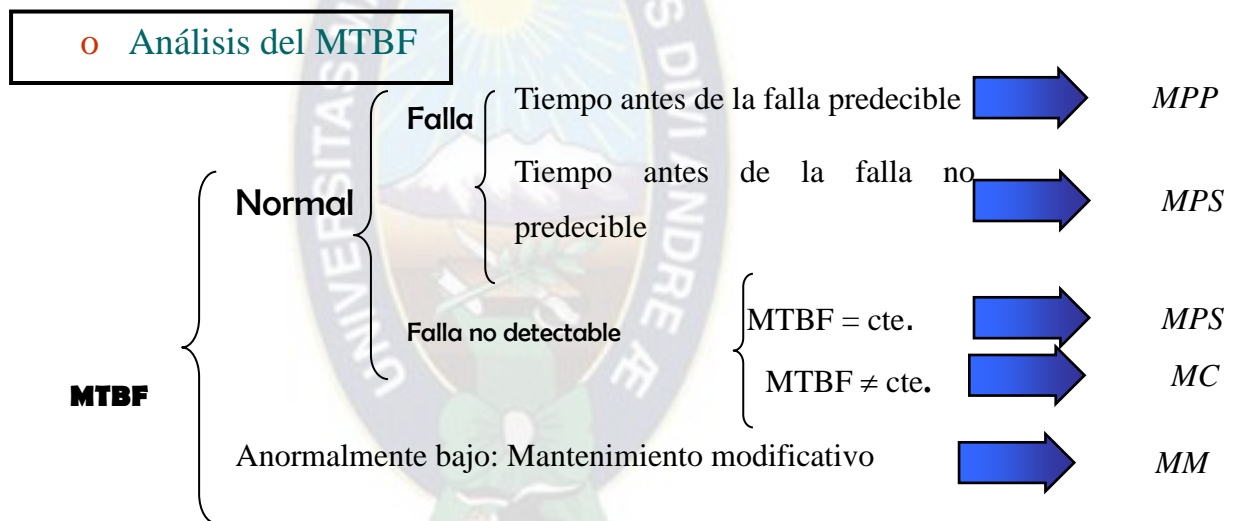
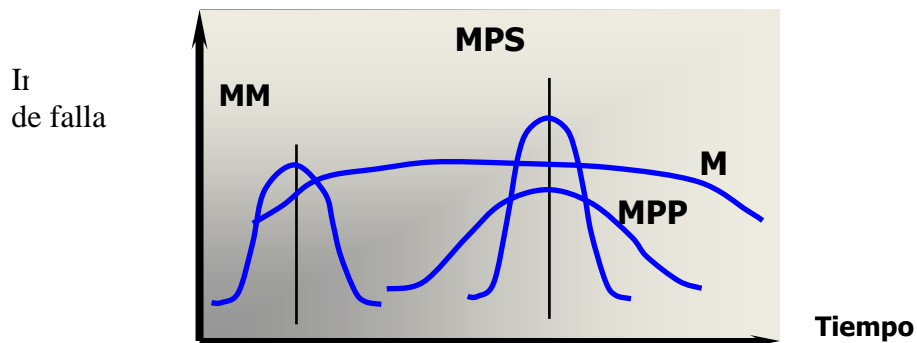


Figura 14. Aplicación de los Diferentes tipos de Mantenimiento según la forma de las distribuciones de las fallas.



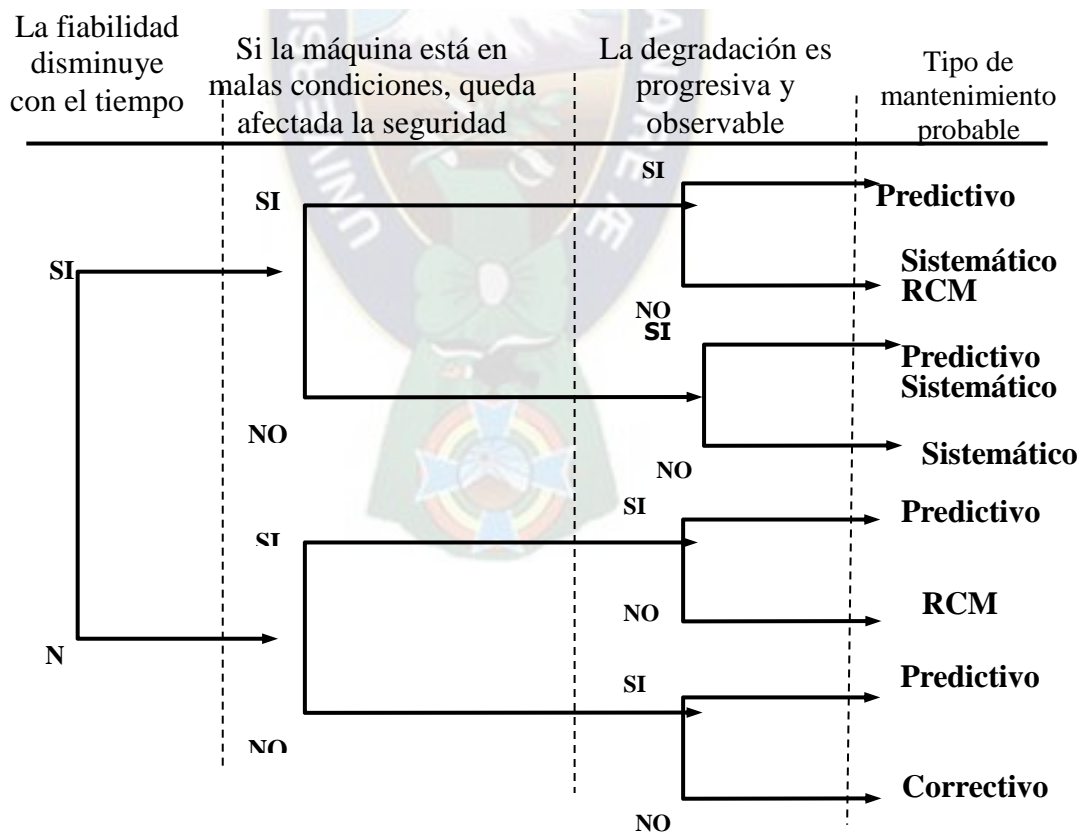
Fuente: Dr. Peralta Uría

- MTBF es el tiempo medio entre fallas
- MPP es el mantenimiento predictivo
- MPS es el mantenimiento sistemático
- MC es el mantenimiento correctivo
- MM es el mantenimiento modificativo

2.4.8 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTOS

En el otro extremo de las tendencias para establecer los sistemas de mantenimiento se han desarrollado métodos más sencillos, que aunque menos precisos y definitivos no dejan de tener su valor, precisamente por su carácter simplista y estar basados en un comportamiento muy generalista de la maquinaria.

Figura 15. Análisis de Comportamiento



Fuente: Dr. Peralta Uría

2.4.9 LIMITACIÓN EN LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- No se aplica a aquellos sistemas en los que existen reglamentos o normas que estipulan el número máximo de horas de funcionamiento de las instalaciones o máquinas; en este caso se aplica el mantenimiento preventivo programado según dichos intervalos.
- Tampoco se aplica en aquellos sistemas en los que la detección de averías es costosa y/o fiable, ni en aquellos en los que la reposición se puede realizar a bajo costo.

2.4.10 MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

El mantenimiento predictivo mediante análisis de vibración, es hoy en día, uno de los métodos concretos en los que más se ha avanzado dentro de las metodologías de mantenimiento de tercera generación. Su fundamento es relevante simple: por muy perfectas que sean las máquinas, rodamientos, motor, husillo, entre otros que vibran en funcionamiento, y dentro de dicha vibración se almacena gran cantidad de información que puede ser útil para reconocer el estado de la máquina.

El estado de una máquina se puede conocer con una eficaz base de datos, un análisis de tendencias y comparaciones con espectros de vibración patrones, para así programar la intervención de los equipos en el momento en que realmente es necesaria, es decir, cuando las condiciones de deterioro han pasado de un determinado punto y antes de que llegue producir la avería.

2.4.10.1 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS VIBRACIONES MECÁNICAS

El programa de mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones en máquinas herramientas (fresadora y tornos), comienza con la selección correcta del grupo de equipos que deben ser incluidos para iniciar el monitoreo. Para el éxito del programa la selección debe ser dirigida hacia aquellos equipos que están generándole a

la empresa altos costos de mantenimiento, o aquellos cuya posible falla podría resultar catastrófica para la educación constante.

Un programa de mantenimiento predictivo contempla de tres etapas:

1. **Detección:** se base en seguimiento o evolución de unos o varios parámetros bien seleccionados (manejo de tendencias)
2. **La identificación:** una vez identificado el problema, se determina la causa raíz por el cual han subido los niveles de vibración.
3. **La Corrección:** permite organizar y ejecutar de modo más eficiente la eliminación del problema y de su propia causa.

2.4.10.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CADA MÁQUINA

- Espectros de referencia; características de la máquina en diferentes puntos cuando está operando correctamente.
- Historial de mantenimiento; datos del fabricante sobre causas de averías, vibraciones características; datos del operador de la máquina en estos mismos tópicos (reforzando el conocimiento en tipos de averías más frecuentes).
- Datos técnicos específicos: revoluciones por minuto, potencia, número de velocidades, cojinetes (datos geométricos característicos).
- Conocimiento de la máquina: condiciones de operación, función de la máquina en los procesos, alteración de los niveles de vibración con los cambios en las condiciones de operación (temperatura, velocidad, depreciación y otros), entre otras.
- Codificación e identificación de las máquinas seleccionadas: la codificación deberá indicar lugar, posición, tipo de máquina, numero de ellas, entre otras.

2.4.10.3 ANÁLISIS DE DATOS TÉCNICOS

- Diagramas y fichas técnicas de los equipos a ser monitorizados.
- Diagramas Puntos y direcciones de mediciones (axiales y radiales).
- Magnitud a medir (desplazamiento, velocidad y aceleración).
- Tipo de sensor adecuado.

2.4.10.4 DEFINICIÓN DEL INTERVALO DE FRECUENCIA A MEDIR

Una vez cumplidos los pasos anteriores, es conveniente que se ejecuten varias mediciones de pruebas que permitan:

- La familiarización con los espectros característicos de cada máquina.
- La optimización de puntos de medición y direcciones.
- En caso que no se hayan podido conseguir los espectros de referencia, previamente del fabricante, se procederán a obtener directamente de un equipo nuevo con la ayuda del personal más experimentado.
- En la medida de las posibilidades se obtendrán los cambios de espectros y amplitudes ante variaciones o desviaciones de las condiciones de operación.
- Estudio de la conveniencia en el tratamiento de la información manual o computarizada, de lo que se desprende la existencia del: protocolo de mediciones, fichero o cuaderno de máquinas; donde se irán clasificando y ordenando de forma cronológica los datos relativos a cada máquina junto con sus características y espectros de referencia.

Para cada máquina es preciso establecer los criterios de severidad, considerados, por ejemplo, de la siguiente manera.

- ALARMA- nivel de vibración severo fuera de límites tolerables
- PARADA – nivel de vibración no aceptable para inminente de equipo

En caso de no disponer de criterios del suministrador se acudirá, como referencia de partida, a las normas existentes. El conocimiento de la máquina y su correspondiente historial, serán la base más segura para la redefinición de los niveles óptimos de la maquinaria en uso.

No existe ninguna regla que establezca cual debe ser el intervalo entre dos mediciones consecutivas en cada máquina. Esta frecuencia de muestreo está sujeta a factores tales como:

- Importancia de la máquina en el proceso de producción (criticidad).
- Características específicas de la propia máquina.
- Estabilidad de las gráficas de tendencia.
- Historial de averías.

En definitiva, esta frecuencia se establece primeramente de acuerdo a estos criterios y será el proceso dinámico de optimización del programa quien defina el intervalo más adecuado para cada máquina.

Sobre la base de la información que se obtenga y como síntesis para la toma de decisiones, se elaborarán los resúmenes siguientes:

- Curva de análisis de tendencias que representa la variación de la amplitud de la vibración total en el tiempo.
- Curva de análisis de tendencias de frecuencias típicas y armónicas más significativos del espectro.

- Espectros en función del tiempo y frecuencia para analizar la condición real del equipo.

2.5 VIBRACIÓN

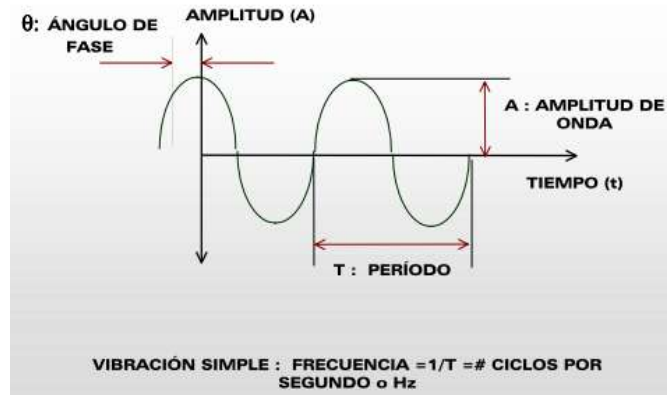
Se dice que un cuerpo vibra cuando experimenta cambios alternativos, de tal modo que sus puntos oscilen sincrónicamente en torno a sus posiciones de equilibrio, sin que el campo cambie de lugar. Como otro concepto de vibración, se puede decir que es un intercambio de energía cinética en cuerpos con rigidez y masa finitas, el cual surge de una entrada de energías dependientes del tiempo.

2.5.1 FRECUENCIA DE LA VIBRACIÓN

Es el dato esencial para localizar el tipo de defecto que existe en una máquina y el elemento donde se ha producido la falla. Como se observa en la Fig. 16 la frecuencia de la vibración es el inverso del periodo y la unidad característica de esta es CPM (ciclo por minuto), también es usado el Hertz (Hz) o CPS (ciclos por segundo). Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos.

Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta. Se identifican las causas que producen vibración comparando la frecuencia de esta con la velocidad de giro del elemento problemático, esta frecuencia puede o no ser única, pero casi todas las frecuencias a las que se dé la vibración serán iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos.

Figura 16. Frecuencia de la Vibración

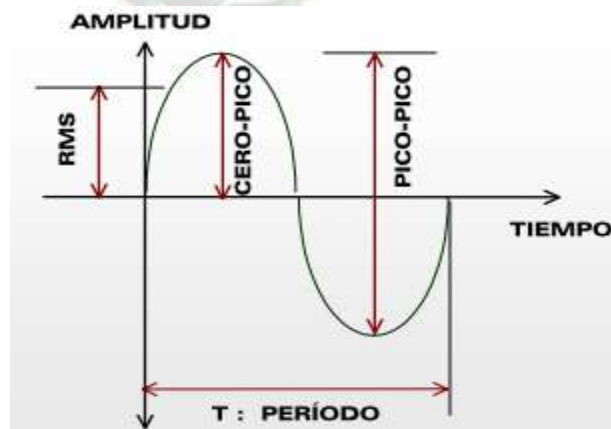


Fuente: Vibraciones Edward B. Magrab

2.5.2 AMPLITUD DE LA VIBRACIÓN

Indica la importancia, gravedad del problema, esta característica da una idea de la condición de la máquina. En la Fig.17 se observa las distintas formas en que se puede medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. Se puede medir en amplitud pico, amplitud pico-pico y amplitud RMS.

Figura 17. Amplitud de la Vibración



Fuente: Vibraciones Edward B. Magrab

2.5.3 DESPLAZAMIENTO DE LA VIBRACIÓN [MILÉSIMAS O MICRAS]

Se define como la distancia total recorrida por el elemento que vibra entre los dos extremos límites del recorrido. Es conveniente medir este parámetro cuando se sospecha que los posibles fallos se reflejen en la zona de bajas frecuencias.

2.5.4 VELOCIDAD DE LA VIBRACIÓN

La velocidad es otra característica importante en la vibración. Permite reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente de desbalanceo, desalineación, holgura mecánica, entre otros. Este parámetro es importante para resaltar picos de bajas y medias frecuencias.

La velocidad de la vibración se en unidades de [mm/s].

2.5.5 ACELERACIÓN DE LA VIBRACIÓN

La medida de la amplitud de la aceleración se utiliza cuando existen fuerzas importantes que se producen a altas frecuencias, aunque cuando esto suceda los valores del desplazamiento y la velocidad no sean significativos. Se recomienda esta característica para evaluar la severidad de la vibración en máquinas cuyo funcionamiento se realice en frecuencias superiores a 60000 ciclos por minuto.

2.5.6 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA VIBRACIÓN.

Existen varias técnicas para determinar la condición de una máquina. Una vez que se ha detectado la presencia de un problema que ocasiona altos niveles de vibración, encontrar la causa puede ser relativamente sencillo si aplicamos los fundamentos de análisis de vibración.

2.5.7 ANÁLISIS DE LA VIBRACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

Una señal de tiempo describe el comportamiento de la vibración en el transcurrir del tiempo. A pesar de que esta señal no es tan útil como la que se obtiene de otros tipos análisis. Un análisis de señal de tiempo puede proveer una pista en la condición de la máquina que no siempre es evidente en un espectro de frecuencia. Una señal de tiempo, es aquella que se produce cuando es colocado un acelerómetro o un sensor de velocidad y es graficada una señal de amplitud vs. Tiempo Figura 18. Tiene gran utilidad para problemas que se presentan en un determinado momento del funcionamiento de la maquinaria

Figura 18. Ondas en el tiempo



Fuente: Vibraciones Edward B. Magrab

2.5.8 NIVEL GENERAL DE VIBRACIÓN OVERALL

El nivel de vibración overall es la medida total de la energía asociada con todas las frecuencias que componen el espectro de la vibración. El valor de vibración overall es comparado con el valor tomado cuando la máquina se encuentra en buenas condiciones de operación, así como con los valores de alarmas establecidos. Los valores overall son graficados para observar los cambios en la condición de operación en períodos de tiempo. La medida de vibración overall es la técnica de vibración más rápida para

evaluar la condición de la maquinaria, pero también es una técnica que suministra poca información para realizar un diagnóstico de la causa de la vibración.

La medida de vibración overall es un buen inicio cuando las lecturas son comparadas con lecturas anteriores, ya que permiten determinar cuando la máquina está vibrando más de lo usual. Sin embargo, medidas de valor overall no son precisas para medir señales de vibración de bajas frecuencias.

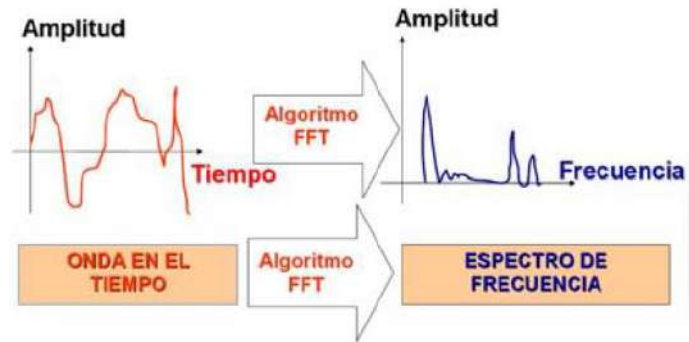
2.5.9 ANÁLISIS DE ESPECTROS DE FRECUENCIA

Un espectro FFT es una herramienta muy poderosa al sospechar de un posible problema en la máquina ya que suministra información que ayuda a determinar la localización y causa del problema, siendo ésta una de las tareas más difíciles en el análisis de condición de la maquinaria. El método de análisis espectral es el recomendado para resolver los problemas de vibración debido a que los problemas de vibración casi siempre ocurren a diferentes frecuencias. Mediante el análisis espectral se determinan las causas de la vibración y observando la tendencia se conocerá cuando estos problemas se convertirán en críticos.

El análisis espectral en términos sencillos es la descomposición del valor overall en las diferentes frecuencias que componen la señal, las cuales corresponden en si a las armónicas de un movimiento periódico. Los espectros de frecuencia generalmente se refieren a la frecuencia de giro del equipo que se está analizando, correspondiendo a esta el valor de 1X. Si existen armónicos o subarmónicos de la frecuencia de giro éstos se denominarán 2X, 3X, 4X, $\frac{1}{2}$ X, $\frac{1}{3}$ X, etc.

Los problemas de vibración en maquinaria usando espectros de frecuencia se diagnostican mediante la comparación del espectro obtenido con espectros típicos del problema o mediante el conocimiento de la forma como se presenta determinado problema.

Figura 19. Análisis de los espectros de frecuencia



Fuente: Vibraciones Edward B. Magrab

2.5.9.1 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE VIBRACIÓN.

Fallas determinadas mediante el espectro de frecuencia

- Desbalance de rotor
- Des alineamiento de ejes
- Solturas Mecánicas
- Fallas eléctricas en motores
- Ejes doblados
- Desgaste de engranajes
- Desgaste de cojinetes de fricción
- Fallas de rodamientos
- Fisuras en engranajes
- Cavitación en bombas

- Excentricidad de poleas.

La determinación de los niveles normales de vibración es uno de los aspectos más importantes dentro de las tareas de organización para la implementación del diagnóstico predictivo por vibraciones mecánicas en una industria. Una incorrecta determinación de este parámetro puede conducir a consecuencias fatales para la máquina y la industria en general. En la determinación del nivel normal de vibración para una máquina dada, los elementos que decidirán cuál debe ser el valor que se tomará como referencia están relacionados con la experiencia del operador en el trabajo con ellas, las características vibraciones de la misma y la rapidez con que evolucionan sus parámetros vibracionales. Como referencia deben conocerse los valores, que para estas máquinas tienen otras de su tipo, o cuáles son los valores recomendados por las normas internacionales sobre vibraciones mecánicas.

Un método muy empleado para la determinación de los niveles normales de vibración es el análisis de tendencia. Este es un método muy simple el cual se basa en la graficación de los parámetros vibracionales de la máquina durante su funcionamiento. Si el estado técnico es bueno, los niveles de vibración mantienen sus valores constantes. Si aparece alguna falla, entonces estos valores comienzan a crecer en la medida que ésta se desarrolla.

El análisis de tendencia tiene una gran aplicación. Es por ello, que, en el estudio preliminar de la máquina, se establece como regla la realización de mediciones periódicas para obtener la tendencia de los valores vibracionales de la misma. Con el análisis de tendencia se puede, además, determinar el momento de posible rotura tomando como referencia el valor máximo permisible del nivel vibración.

El análisis de tendencia exige que las mediciones se efectúen sobre los mismos puntos de medición, los que deben ser seleccionados de acuerdo a la estrategia establecida para el estudio de la máquina, manteniéndose siempre, las mismas condiciones del muestreo.

El análisis puede realizarse tanto sobre los valores globales de la vibración, como sobre los espectros vibratoriales.

Otro método que puede ser empleado para la determinación de niveles normales de vibración, es el análisis estadístico. Este método es muy utilizado para el control de la calidad en la fabricación de máquinas rotatorias. En los casos en que el fabricante no aporte los niveles de vibración característicos de una máquina es posible realizar un trabajo de pruebas estadísticas, cuando el número de máquinas idénticas (relativamente grande) trabajan bajo las mismas o parecidas condiciones de funcionamiento. Así, mediante la medición periódica de las máquinas y sus restantes parámetros de trabajo, es posible establecer los correspondientes niveles normales y anormales de vibración de las máquinas en cuestión.

2.5.9.2 FORMAS DE MEDICIÓN POR VIBRACIÓN

En el caso de las vibraciones, lo que se mide es la aceleración, la velocidad o el desplazamiento de la vibración. De tal modo entonces en ocasiones la aceleración es el parámetro más usado y sus unidades son m/s^2 . el instrumento que sirve para medir vibraciones se llama vibro metro.

2.5.9.3 NIVELES DE BANDAS DE FRECUENCIAS ESPECTRALES

Los niveles de bandas espectrales, son niveles de vibración que se le asignan a varios puntos de medición de los equipos en un rango de frecuencia establecido, permitiendo detectar problemas de origen mecánico a baja frecuencia y a las primeras etapas de fallas en los rodamientos, para el caso de los equipos que tienen rodamientos de bolas o rodillos en sus apoyos.

2.5.10 FALLAS MÁS COMUNES EN MÁQUINAS ROTATIVAS DETECTADAS POR EL ANÁLISIS DE VIBRACIÓN.

2.5.10.1 DESBALANCE

El desbalance es el problema de mayor ocurrencia en las máquinas rotativas. El desbalance de un rotor o eje se debe a la distribución no uniforme de la masa, de manera que el eje no gira en su centro geométrico, sino que por el contrario realiza el giro sobre el eje principal de la inercia, es decir que su centro de gravedad queda en una posición excéntrica con respecto al eje de rotación. La vibración causada por desbalance, se manifiesta a una frecuencia equivalente a $1 \times \text{r.p.m.}$ de la parte desbalanceada, mientras que la amplitud de la vibración es proporcional al nivel de desbalance. Existen cuatro tipos de desbalance los cuales son:

- Desbalance estático
- Desbalance de par
- Desbalance cuasi-estático
- Desbalance dinámico

2.5.10.2 DESALINEACIÓN

La desalineación ocupa el segundo lugar de ocurrencia en maquinaria rotativa, consiste en que los ejes de rotación de la máquina conducida y de la conductora no están perfectamente alineados. Pueden también presentarse desalineación en los cojinetes, rodamientos y poleas de transmisión. Aunque los acoples y cojinetes absorben cierta cantidad de desalineación, la cantidad máxima de desalineación que soporta una máquina dependerá de su diseño; esta falla causa fatiga en los rodamientos, destroza los acoples, daña los sellos y produce desgaste prematuro en los engranajes.

Un posible indicativo de desalineación se presenta si al doble de la velocidad de rotación se presenta un valor de amplitud y si además la amplitud de vibración en el sentido axial es mayor que la mitad de la lectura radial más elevada.

2.5.10.3 EXCENTRICIDAD

La excentricidad es el estado que presenta un rotor cuando la línea central-rotacional de un eje no es igual a la línea central-geométrica. La excentricidad es la fuente de desequilibrio, lo que resulta de la condición de haber más peso por un lado de la línea central-rotacional que del otro lado.

La excentricidad se puede producir en engranajes, poleas, rodamientos, así como también, en los inducidos de motores eléctricos.

2.5.10.4 HOLGURA MECÁNICA SE PUEDEN DAR 3 TIPOS DE HOLGURAS MECÁNICAS ENTRE ELLAS SE ENCUENTRAN

- **Holgura mecánica tipo A**

Se presenta cuando existe alojamiento estructural y aflojamiento de pedestales. Este tipo de problema se puede confundir con desbalance o desalineación, por eso es importante que se realice inspecciones visuales a los soportes de la máquina.

- **Holgura mecánica tipo B**

Se presenta cuando existen fisuras o fracturas en estructuras o alojamientos, así como también, el movimiento basculante producido por pies de apoyo de diferentes longitudes y pernos flojos en chumaceras. Estos síntomas de holgura normalmente no se presentan por si solos, a menos que haya otra fuerza que lo excite, como en el caso de desbalance, desalineación, excentricidad, etc.

○ **Holgura mecánica tipo C**

Este tipo de holgura se presenta cuando existen rodamientos flojos en su alojamiento, juego interno excesivo en los rodamientos, desgaste de los alojamientos en los rodamientos, rodamientos girándose en su eje, aflojamiento de algún componente de la máquina.

2.5.10.5 VIBRACIONES PRODUCIDAS POR TORBELLINOS DE ACEITE

Constituye un problema más fácil de detectar, durante la interpretación de los registros espectrales, siendo unas de las causas posibles la presencia de amplitudes a frecuencias inferiores a la frecuencia de rotación.

2.5.10.6 VIBRACIONES POR DEFECTOS EN TRANSMISIONES DE POLEAS CORREAS

Las transmisiones por poleas y correas son susceptibles de ser afectadas por una serie de problemas, cuyo origen se encuentra en gran medida en deficiencias asociadas al montaje de la transmisión, aunque el envejecimiento de la correa también atenta contra los niveles de vibración.

Las frecuencias generadas por los problemas de este tipo de transmisiones son inferiores a la frecuencia de rotación, es decir, son frecuencias subsincrónicas.

2.5.10.7 VIBRACIONES EN ENGRANAJES

Las transmisiones por engranajes también son susceptibles a presentar problemas que originen vibración. Cuando dos o más ruedas dentadas engranan, se generan frecuencias que dependen de la velocidad, el número de dientes y la excentricidad. Midiendo vibraciones en las transmisiones por engranajes se pueden identificar problemas tales como, una inapropiada relación entre los números de dientes, excentricidad o errores de cilindridad, oscilaciones torsionales, des alineamiento y factura o deterioro de los dientes.

2.5.11 ANÁLISIS DE RCM

El mantenimiento R.C.M se centra en lograr la máxima confiabilidad en los equipos, pero no podrá aportar mayor confiabilidad que la brindada por los diseñadores. Cada componente se comportará de una forma diferente, cada uno tendrá su combinación de modos de falla, ya que los entornos de trabajo también son diferentes (temperatura, presión, velocidad...). De manera que la base para realizar o revisar el plan de mantenimiento debería empezar por ver cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento de cada elemento. El R.C.M es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M) en la institución Tecnológico Don Bosco Carrera Mecánica. Para implementar el R.C.M se han de identificar los equipos carrera, y ver en cuales de estos se ha de aplicar el proceso de revisión R.C.M. En los equipos a analizar al completo, desde todas las máquinas herramientas. A partir de este listado se analiza qué equipos son los que suponen un riesgo, es decir cuales producirían una situación crítica en caso de avería.

Las siete preguntas del R.C.M Una vez seleccionados los elementos a revisar, el R.C.M responde a una serie de preguntas de cada equipo que son las siguientes:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Cuál es la causa de la falla?
- ¿Qué sucede al fallar el equipo?
- ¿Qué ocurre al fallar?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir el fallo?
- ¿Qué sucede si no se puede prevenir el fallo?

Los encargados de responder estas preguntas serán los componentes de un “Grupo de revisión”, creados expresamente para esto. Con el desarrollo de la tesis se aplicará el R.C.M, a las maquinas herramientas tornos y fresadoras.

○ **Funciones del equipo**

Cada equipo es adquirido para satisfacer una necesidad con unos estándares determinados, y en el momento que no la cumplan estará provocando la falla en el equipo. En cada equipo se establece un contexto operacional, en el que deben constar estos cuatro factores:

- Régimen de operación del equipo
- Disponibilidad de la mano de obra y repuestos
- Consecuencias de la indisponibilidad del equipo (pérdida de producción, reducción de la producción...)
- Objetivos de seguridad y medio ambiente

Debemos diferenciar el enfoque del mantenimiento según las funciones del equipo, ya que este puede ser totalmente diferente si por ejemplo en dos equipos iguales uno es el principal y otro es el de reserva. Además, también diferenciaremos entre funciones principales y secundarias. Los principales se determinarán a través de dos criterios, el primero es establecer la función que el propietario quiere que realice y a qué nivel, y el segundo la capacidad que tiene el equipo de lograrlo. Por otra parte, las funciones secundarias comprenden aspectos ambientales, económicos, de seguridad o eficiencia entre otras.

○ **Falla funcional**

La falla funcional es la incapacidad que tiene un equipo en llevar a cabo sus funciones por las cuales ha sido adquirido. Las fallas funcionales únicamente describen la incapacidad de lograr la función deseada, pero no se extiende más allá de esto, ya que ni explica ni detalla las causas de la falla. Las fallas dependen del contexto operacional, el estado de un elemento puede no considerarse como falla en ciertas ocasiones y si en otras. Además, al definir las fallas se han de seguir una serie criterios de funcionamiento que han de estar perfectamente definidos, de otra forma podría ocasionarse cierta confusión según desde el punto de vista con que se analice. En ocasiones el personal de mantenimiento puede considerar como fallo algo que el personal de productividad no lo considere. Por esta razón se han de definir claramente los criterios dentro del contexto operacional, para que de esta forma se actúe de la manera correcta.

○ **Modo de avería**

Una vez identificada la falla, el siguiente paso es intentar identificar los hechos que la han podido causar. Estos hechos son los denominados modos de falla, y son los encargados de definir la razón por la cual ha fallado. Dentro de una sola instalación puede haber una gran lista de modos de falla, pero de esta enorme lista solo han de registrarse los que puedan ocurrir en mayor probabilidad. La decisión de incluir o no un modo de avería en la lista se ha de tomar con cautela, ya que un modo de avería puede ser no muy probable, pero en cambio sus consecuencias son grandes como para tenerlo en cuenta. Para responder a esta tercera pregunta ¿Cuál es la causa de la falla? la norma SAE JA1011⁴ define los siguientes puntos:

- Todos los modos de falla razonablemente probables de causar cada falla funcional deben ser identificados.

⁴ Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM

- El método usado para decidir que constituye un modo de avería probable ha de ser aceptado por el propietario/usuario del equipo.
- Los modos de falla deben identificarse hasta un nivel de casualidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas adecuada.
- Una lista de modos de falla debe incluir los modos de falla que han ocurrido anteriormente, modos de falla actualmente prevenidos por programas de mantenimiento y modos de falla que no han sucedido pero que la probabilidad de que sucedan es alta.
- Una lista de modos de falla, además, también ha de incluir cualquier situación o proceso que tenga una alta probabilidad de provocar una falla (desgaste, defectos de diseño, error humano).

○ **Efectos de falla**

Los efectos de falla describen los que ocurriría si no se lleva a cabo ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar una falla. Estos efectos han de incluir la información necesaria para garantizar la evaluación de las consecuencias de falla como:

- Si existe o no evidencia de que la falla ha ocurrido.
- Si tiene o no amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- La manera en que afecta a la producción o diferentes operaciones.
- Si la falla puede ocasionar daños físicos.
- Como se ha de responder para rehabilitar la función del sistema después de la falla.

○ **Consecuencia de la falla**

Una vez ya determinadas las funciones, fallas funcionales, modos de fallo y los efectos, se procede a evaluar la importancia de cada falla. Estas consecuencias serán las que marcarán la decisión de si se ha de tratar de prevenir la falla o no. Las tareas preventivas se realizan siempre y cuando se comprueba que realizándolas se pueden evitar las consecuencias de la falla. El R.C.M⁵ divide en cuatro grupos las consecuencias de falla:

- Fallas ocultas: Las fallas ocultas no tienen ningún impacto negativo directo, pero hacen que la instalación esté expuesta a fallas múltiples que pueden ocasionar consecuencias graves y en algunos casos hasta catastróficas. Un ejemplo sería el sistema contra incendios, si los detectores de humo no funcionan puede dar resultado a una consecuencia catastrófica.
- Seguridad y medio ambiente: Un modo de avería tiene consecuencias medioambientales o de seguridad cuando se incumple con cualquier norma o regulación (normas gubernamentales de medio ambiente) o existe la posibilidad de daños físicos sobre la persona.
- Operacionales: En este apartado se incluyen las consecuencias de falla que causan pérdidas económicas aparte de la reparación del elemento dañado, es decir, la reducción de la producción, la atención al cliente o la calidad del producto.
- No operacionales: Las consecuencias de falla que se incluyen en esta categoría son aquellas que no afectan ni a la producción ni a la seguridad, solo se requiere la reparación o remplazo de los elementos afectados por la falla. De manera que solo afecta económicamente a la empresa.

⁵ Mantenimiento centrado en la fiabilidad, es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial

Cuando las consecuencias tengan una importancia significativa, se intentará prevenirlas. Al contrario, cuando no lo son, solo se actuará haciendo un mantenimiento sistemático. Es por esto, por lo que el R.C.M hace hincapié en preguntar si cada falla tiene una consecuencia significativa o no. A partir de la respuesta a esta pregunta, se actuará de una manera u otra

○ **Prevención de la falla**

El mejor método para mejorar la disponibilidad de las maquinas es tener implantado algún tipo de mantenimiento rutinario. El mantenimiento a aplicar puede variar bastante según la política de la institución o los equipos a mantener. En algunos equipos las fallas son repetitivas, en otros las consecuencias que puede causar la falla no es significativa, pero cuando las consecuencias de pueden ser significativas se ha de actuar para evitar daños mayores. Será en estos casos cuando el mantenimiento ha de actuar para prevenir estas fallas o al menos reducir las consecuencias.

○ **Sin opciones de prevenir la falla**

Aparte de comprobar si la realización de las tareas preventivas es factible o no, el R.C.M se ocupa también de si merece la pena o no hacerlas. Si se comprueba que no vale la pena realizar este tipo de tareas, se efectúan otro tipo tareas de mantenimiento llamadas “a falta de”, que tratan ya con el estado de falla. El R.C.M distribuye en tres tipos las tareas “a falta de”:

- Búsqueda de la falla: Se aplica a las fallas ocultas, es decir solamente a los elementos de protección.
- Rediseño: Se considera rediseño al cambiar las características o especificaciones de cualquier componente de un equipo. Además, también se incluyen las modificaciones, al añadir algún elemento nuevo, o la sustitución o reubicación de los equipos.

2.5.11.1 VENTAJAS Y LOGROS DE LA APLICACIÓN DEL R.C.M

La aplicación del R.C.M en la industria aporta una serie de ventajas y logros como:

- Mejora de las comunicacionales entre el diferente personal de la empresa.
- Aprovechamiento de la habilidad y el conocimiento de cada componente del grupo.
- Realización de un mejor análisis de cada uno de los componentes del equipo.
- Detección de fallas antes de que ocurran.
- Mayor seguridad y protección del entorno.
- Mejores rendimientos operativos.
- Mayor contención de los costes de mantenimiento.
- Una amplia base de datos de mantenimiento.
- Mayor motivación de las personas.
- Mejor trabajo de grupo (análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones)

2.6 TÉCNICA ULTRASONIDO

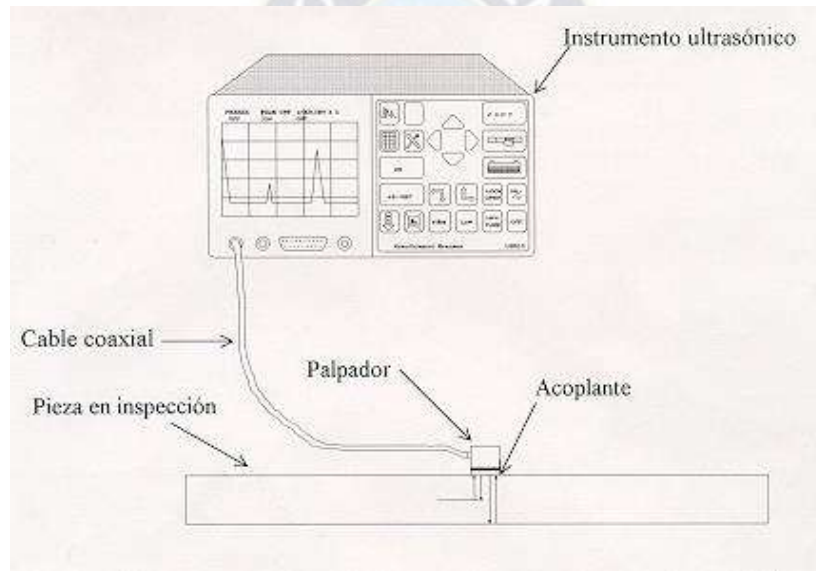
2.6.1 INTRODUCCIÓN ULTRASONIDO INDUSTRIAL

El ultrasonido son vibraciones mecánicas que se transmiten en el material por medio de ondas de la misma naturaleza que el sonido, pero con frecuencia mayor a los 20,000 ciclos/segundo (hz).

2.6.2 PRINCIPIO DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

El principio físico en el que se basa este método de inspección es la transmisión a velocidades constantes de señales de ultrasonido a través del material y la captación del eco producido cuando existe un cambio en la impedancia acústica Z (resistencia que oponen los materiales al paso de una onda acústica).

Figura 20. Principio de inspección ultrasónica



Fuente: Diapositivas de curso maestría

2.6.3 APLICACIONES

La inspección ultrasónica es uno de los métodos de inspección no destructiva más ampliamente usados, y en el área metal-mecánica es utilizado principalmente para la detección de discontinuidades.

La inspección ultrasónica encuentra sus principales aplicaciones en las siguientes áreas:

La inspección ultrasónica de metales se utiliza principalmente para la detección de discontinuidades. Este método puede utilizarse para detectar fallas internas en la mayoría de los metales y aleaciones de ingeniería. También pueden inspeccionarse uniones producidas por soldadura y uniones adhesivas.

La inspección ultrasónica se utiliza también para el control de calidad e inspección de materiales en industrias grandes. Esto incluye materiales metálicos y compuestos, fabricación de estructuras como tuberías y recipientes a presión, naves, puentes, vehículos de motor, maquinaria, motores de jet, etc.

2.6.4 VENTAJAS

Las ventajas principales de la inspección por ultrasonido, comparadas con los otros métodos de inspección no destructiva son:

Gran velocidad de prueba: debido a que la operación es electrónica, proporciona indicaciones prácticamente instantáneas de la presencia de discontinuidades.

Mayor exactitud: en comparación con los demás métodos no destructivos, en la determinación de la posición de discontinuidades internas, estimando sus tamaños, orientaciones, forma y profundidad.

Alta sensibilidad: permitiendo la detección de discontinuidades extremadamente pequeñas.

Alto poder de penetración: lo que permite localizar discontinuidades a una gran profundidad.

Buena resolución: siendo esta característica la que determina que puedan diferenciarse los ecos procedentes de discontinuidades próximas a la superficie.

Solo se requiere el acceso **por una sola cara** del material.

Permite la interpretación inmediata, la automatización y el control del proceso de fabricación. **No utiliza radiaciones perjudiciales** para el organismo humano y no tiene efectos sobre el material inspeccionado.

Puede dejar registro permanente de las inspecciones realizadas y evaluaciones a través de computadora.

2.6.5 LIMITACIONES

Las principales limitaciones de la inspección por ultrasonido, comparadas con los otros métodos de inspección no destructiva son:

La inspección manual requiere mucha atención y concentración de técnicos experimentados.

Se requiere un gran conocimiento técnico para el desarrollo de los procedimientos de inspección.

Las piezas de geometría compleja, rugosas, de grano grueso, porosas, demasiado ásperas, muy pequeñas, muy delgadas o no homogéneas son difíciles de inspeccionar.

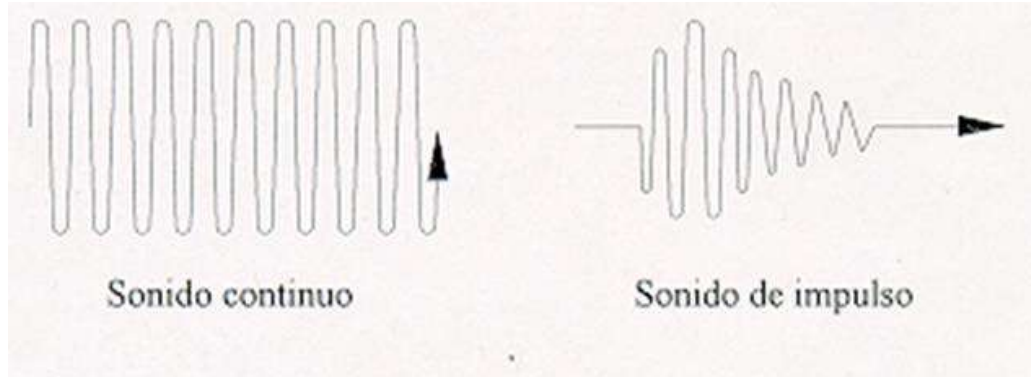
2.6.5.1 PRINCIPIOS ACÚSTICOS BÁSICOS

Sonido. - energía vibratoria que viaja a través de diferentes medios y que pueden reflejarse como ecos.

Sonido continuo. - cuando la duración del sonido es mucho más larga que el tiempo de oscilación.

Sonido de impulso. - en este caso la duración del sonido es casi igual al tiempo de oscilación y entre cada impulso existe una pausa. En la técnica de ultrasonido se utiliza siempre el sonido por impulsos.

Figura 21. Diferencia del sonido en función de su duración



Características de una Onda

- Ciclo
- Longitud de Onda
- Amplitud
- Frecuencia

1 Ciclo

Es el movimiento completo de la onda.

Longitud de Onda = λ

Es la distancia requerida para completar un ciclo.

Amplitud

Es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que adquiere o alcanza la onda.

Frecuencia (f) = 1 ciclo / 1 seg = 1 Hz

Es el Número de ciclos que pasan por un punto en una unidad de tiempo.

Fuente: Mora Gutiérrez Luis Alberto

2.6.5.2 PRINCIPIOS ACÚSTICOS BÁSICOS

- **Periodo de Oscilación (T):** Es el tiempo que se requiere para recorrer una oscilación. Se mide en segundos (S).

- **Inclinación:** Es la distancia de un cuerpo oscilante hasta su punto de reposo en un momento cualquiera.
- **Frecuencia (f):** Es el número de oscilaciones o vibraciones en la unidad de tiempo (ciclos /segundo) $f=1/T$.
- **Amplitud (A):** Ancho máximo de la oscilación, es decir la inclinación mayor desde el punto de reposo.
- **Fase:** Posición momentánea del cuerpo dentro de una oscilación.

2.6.5.3 MODOS O TIPOS ONDAS

Con relación al origen y propagación de las ondas es necesario conocer los siguientes conceptos:

- **Onda:** Difusión de oscilaciones, la cual aparece cuando un componente elemental oscila y transmite la vibración a otro adyacente.
- **Longitud de onda (λ):** Es la distancia entre dos puntos cercanos con el mismo estado de oscilación (fases iguales) en dirección de propagación de la onda.
- **Frente de onda:** Es la línea delantera de un tren de ondas en propagación. Todos los puntos del frente de onda tienen el mismo estado momentáneo de oscilación.
- **Impedancia acústica (Z):** Es la resistencia que ofrecen los materiales al paso de las ondas ultrasónicas. La impedancia es el producto de la densidad del material por la velocidad máxima de vibración en el mismo; se representa por la siguiente ecuación:

$$Z = \rho V_m$$

Dónde:

ρ = Densidad (Kg/m^3)

V_m = Velocidad máxima de vibración en el material (m/s)

Z = Impedancia acústica ($\text{Kg/m}^2\text{s}$)

Presión acústica (P): Es la fuerza que ejercen las ondas por unidad de superficie y es la característica que permite la propagación de las vibraciones; sus unidades son N/m^2 y puede ser calculada con:

$$p = Z\omega A$$

Dónde:

Z = Impedancia acústica

ω = Frecuencia angular ($\omega = 2\pi f$)

A = Área

Intensidad acústica (I): Es la cantidad de energía que transmiten las ondas por unidad de área en cada segundo, su unidad es w/m^2 y se calcula con la siguiente expresión:

$$I = (1/2)(Z\omega^2 A^2)$$

2.6.5.4 VARIABLES DE ONDAS PROPAGACIÓN

Las ondas más utilizadas en ultrasonido son:

- a) Longitudinales o de compresión
- b) Transversales o de corte
- c) Superficiales o de Rayleigh
- d) De placa o de Lamb.

$$v = f \lambda$$

Dónde:

V = Velocidad (m/s)

f = Frecuencia (hertz o ciclos/s)

λ = Longitud de onda (m/ciclo)

2.6.5.5 ONDAS LONGITUDINALES

Algunas veces llamadas también ondas de compresión, son el tipo de ondas ultrasónicas mayormente usadas en la inspección de materiales. Este tipo de ondas se caracterizan porque los desplazamientos de las partículas son en dirección paralela a la de propagación.

Las ondas longitudinales ultrasónicas se propagan fácilmente en líquidos, gases, así como en sólidos elásticos. Las trayectorias medias de las moléculas de los líquidos y gases a presión de 1 atm son tan pequeñas que las ondas longitudinales pueden propagarse simplemente por la colisión elástica de una molécula con la siguiente. La velocidad de las ondas longitudinales es de aproximadamente 5920 m/s en el acero, 1480 m/s en agua y 330 m/s en el aire.

2.6.5.6 EQUIPOS

Existe una gran variedad de equipos ultrasónicos de diferentes marcas, modelos, tamaños, forma, presentación de resultados, etc.

La selección deberá ser de acuerdo a las necesidades de inspección y al sistema de transmisión apropiado. Sin embargo, el sistema de transmisión pulso-eco es el más utilizado en la actualidad.

Para llevar a cabo la transmisión del ultrasonido existen tres métodos básicos:

- Pulso - eco
- Onda continua (Transparencia)
- Resonancia

2.6.5.7 PULSO ECO

Consiste en hacer incidir impulsos cortos de vibraciones ultrasónicas sobre un cuerpo, de tal forma que la energía reflejada en las discontinuidades o en la pared posterior proporcionen una buena base para poder valorar el tiempo transcurrido en ida y vuelta del impulso y permita así determinar la distancia a la cual se encuentran las discontinuidades desde la superficie o pared posterior.

2.6.5.8 ONDA CONTINUA (TRANSPARENCIA)

En este método se emplean dos palpadores, uno que emite y otro que recibe. El método se fundamenta en las variaciones que se producen en la transmisión de la energía ultrasónica como consecuencia de la presencia de discontinuidades o cambios de micro estructura, variaciones que quedan registradas en la pantalla del equipo.

2.6.5.9 RESONANCIA

La resonancia es la vibración característica de un cuerpo, bajo ciertas condiciones, de acuerdo con una fuerza de excitación proporcionada.

La resonancia acústica de los objetos se encuentra constantemente en la vida diaria, cada objeto tiene su propia nota específica. Esto es producto del hecho de que las ondas sonoras de cierta longitud de onda se reflejan dentro del objeto, esto se conoce como frecuencia de resonancia.

2.6.5.10 EQUIPO BÁSICO PULSO ECO

La mayoría de los sistemas de inspección ultrasónica incluye el siguiente equipo básico:

Un generador electrónico de señales que produce pulsos eléctricos.

Un palpador (transductor) que emite el haz de ondas ultrasónicas cuando recibe los pulsos eléctricos.

Un acoplante que transfiere las ondas del haz ultrasónico a la pieza de prueba.

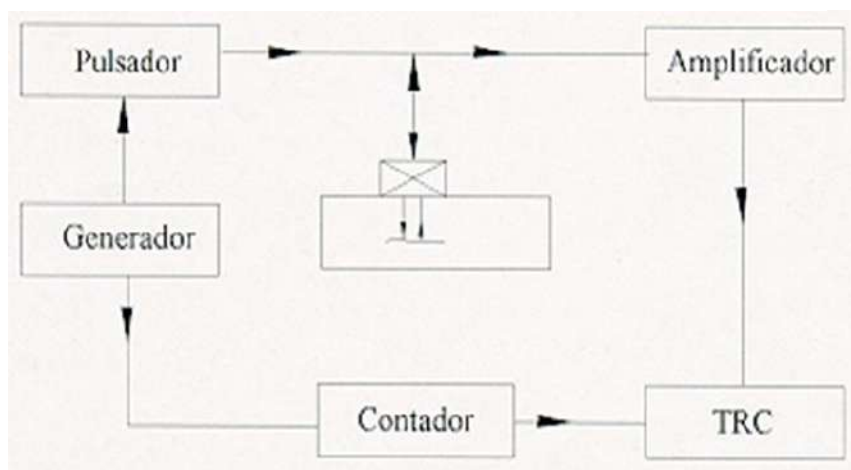
Un palpador (que puede ser el mismo que se utilizó para emitir las ondas de ultrasonido) para aceptar y convertir las ondas de ultrasonido de la pieza de prueba a pulsos eléctricos.

Un dispositivo electrónico para amplificar y si es necesario, desmodular o de otra manera modificar las señales del transductor.

Un dispositivo de despliegue para indicar las características o marcas de salida de la pieza de prueba, el dispositivo puede ser un tubo de rayos catódicos (TRC).

Un reloj electrónico o contador (timer) para controlar la operación de los componentes del sistema, para servir como punto de referencia primario, y para proporcionar coordinación del sistema completo.

Figura 22. Sistema de Prueba Pulso Eco



Fuente: Manual equipo ultrasonido Balmac. Inc

2.6.5.11 CONTROLES ELECTRÓNICOS DEL EQUIPO PULSO ECO

Fuente de corriente: Los circuitos encargados de alimentar la corriente para el funcionamiento forman la fuente de corriente eléctrica. Algunos equipos son alimentados directamente de la línea de corriente mientras que otros son alimentados a través de baterías (casi siempre recargables).

Generador de impulsos: Este generador produce la frecuencia de impulso, la cual puede ser ajustada entre 50 Hz y 10 KHz. Con el selector de rango de ensayo se ajusta automáticamente la frecuencia al rango seleccionado.

Desviación horizontal: Este circuito regula el lapso transcurrido entre un impulso emitido y el eco (o ecos recibidos), es decir, él controla el retraso del eco.

Amplificador del retraso: El componente regula la linealidad horizontal de las señales recibidas en los diferentes rangos de ensayo. Es un elemento indispensable para garantizar una calibración correcta del equipo.

Conmutador de servicio dual: Este conmutador conecta o desconecta las entradas para el servicio como emisor/receptor o emisor y receptor.

Amplificador del receptor: Esta unidad tiene la función de transformar las señales recibidas y, por medio de dispositivos periféricos, ellas pueden ser ajustadas a una forma conveniente para su interpretación. Entre dichos dispositivos se pueden mencionar: control de sensibilidad, ventanas, umbral de señal, monitores acústicos, etc.

Amplificador de desviación vertical: Las señales retrasadas generan un aumento lineal de la tensión. Después de lograr un máximo, la tensión cae bruscamente a su valor original. El amplificador de la desviación vertical controla el incremento de la tensión. El tiempo entre aumento y disminución de la tensión puede ser regulado.

Al mismo tiempo protege al equipo de las intensidades máximas de la tensión del impulso de la señal. Este elemento controla también la amplitud de las señales y su buen funcionamiento es una garantía para efectuar una mejor evaluación de las señales recibidas.

2.7 NIVELACIÓN DE LAS MÁQUINAS - HERRAMIENTAS

El avance tecnológico en la fabricación de máquinas-herramientas, busca fundamentalmente cumplir con las siguientes exigencias:

- Reducir los tiempos de fabricación.
- Lograr un mayor grado de precisión en las piezas producidas.

El comprador de las máquinas-herramientas debe exigir que, en el respectivo catálogo de estas, aparezca la ficha de verificación, donde estén consignados tanto los valores de verificación según las normas, como los valores que ha formado el fabricante y que deben estar entre los parámetros de las tolerancias, y de ser posible, el comprador debe comprobar dichos valores haciendo su propia verificación. Conviene realizar periódicamente una verificación del estado de las máquinas-herramientas, con el fin de conocer el grado de precisión, forma y medida de las piezas, que la máquina produce, causas de fallas. Por las razones expuestas, se han elaborado las siguientes fichas de verificación para máquinas-herramientas más comunes, siguiendo las normas de Schlesinger. La nivelación de las máquinas es muy importante, ya que, en el torno, por ejemplo, una desnivelación ocasiona torcedura de bancada, lo que a su vez ocasiona fallas de forma en la pieza resultante, así como el desgaste rápido de bancada, desalineación, desgaste irregular en las transmisiones por Piñón etc. Similares problemas se presentan en las máquinas-herramientas. Para obtener una buena nivelación, conviene emplear niveles con precisión de por lo menos 0.04 mm/m. Esto significa que a cada división de la escala que tiene el nivel, corresponde a una inclinación de 0.04 mm en una longitud de un metro.

En máquinas con niveles de alta precisión, debe tenerse especial cuidado con aspectos como la limpieza y la temperatura.

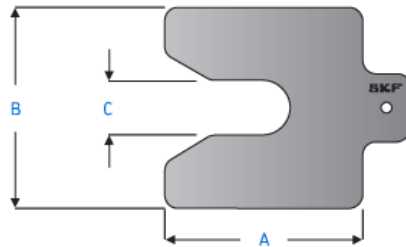
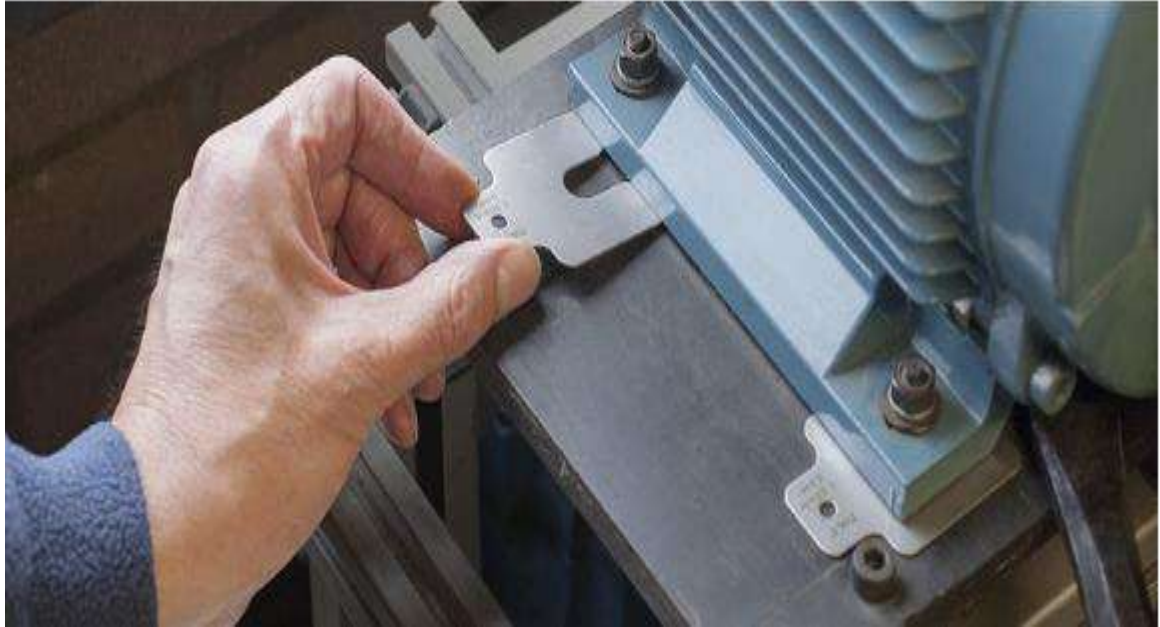
2.7.1 PAQUETES DE CHAPAS CALIBRADAS

El ajuste preciso de las máquinas es un elemento esencial para cualquier proceso de alineación. Las chapas calibradas de una sola ranura de SKF están disponibles en cinco dimensiones y en diez espesores diferentes.

- Fabricadas de acero inoxidable de alta calidad, lo que permite su reutilización
- Fáciles de ajustar y retirar
- Tolerancias reducidas para facilitar la precisión de la alineación
- Espesor marcado claramente en cada chapa
- Sin rebabas

Las chapas calibradas se suministran en paquetes de 10 unidades y también están disponibles en kits completos. Para obtener más información sobre las dimensiones y el contenido del kit, seleccione uno de los siguientes enlaces:

Figura 23. Especificaciones de las chapas calibradas para maquinaria



Designación	Número de chapas calibradas por juego	A mm	B mm	C mm	Espesor mm
TMAS 50-005	10	50	50	13	0,05
TMAS 50-010	10	50	50	13	0,10
TMAS 50-020	10	50	50	13	0,20
TMAS 50-025	10	50	50	13	0,25
TMAS 50-040	10	50	50	13	0,40

Fuente: www.skf.com

2.8 IMPORTANCIA DE HIPÓTESIS EN UNA INVESTIGACIÓN

La importancia de hipótesis en una investigación proviene del nexo entre teoría y la realidad empírica entre el sistema formalizado y la investigación.

En tal sentido, la hipótesis sirve para orientar y delimitar una investigación, dándole una dirección definitiva a la búsqueda de la solución de un problema. En efecto, uno de los propósitos cumplidos por las hipótesis es servir de ideas directrices a la investigación. En consecuencia, cuando se emplean para diseñarlas se llaman con frecuencia hipótesis de trabajo, puesto que investigador puede formular diversas hipótesis para ser sometidos a prueba.

Ahora bien, cuando la hipótesis de investigación ha sido bien elaborada, y en ella se observa claramente la relación o vínculo entre dos o más variables, es posible que el investigador pueda seguir lo siguiente:

- Elaborar el objetivo, o conjunto de objetivos que desea alcanzar en el desarrollo de la investigación.
- Seleccionar el tipo de diseño de la investigación factible con el problema planteado.
- Seleccionar los métodos, instrumentos y las técnicas de investigación acorde con el problema que se desea resolver.
- Seleccionar los recursos tanto humanos como materiales, que se emplearan para llevar a un fabuloso término de la investigación planteada.

Otra perspectiva al respecto es de Kerlinger[2] (1996) considera la importancia de las hipótesis por tres razones:

- Son instrumentos de trabajo de la teoría

- Son susceptibles de demostración en cuanto a su falsedad o veracidad.
- Son poderosas herramientas para el avance del conocimiento porque permiten a los científicos percibir el mundo desde fuera.

Por estos considerandos creemos que la hipótesis constituye un rol primordial en el proceso de producción de conocimientos, así como la solución de los diversos problemas fácticos, en tanto en cuanto significan instrumentos teóricos y metodológicos que guían y orientan al investigador en las etapas de proceso de investigación.

2.8.1 TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

La técnica es indispensable en el proceso de la investigación científica, ya que integra la estructura por medio de la cual se organiza la investigación, La técnica pretende los siguientes objetivos:

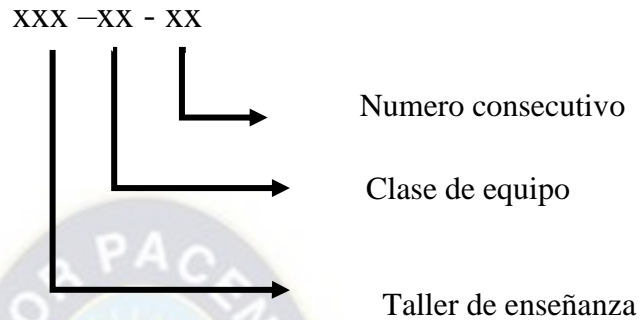
- Ordenar las etapas de la investigación.
- Aportar instrumentos para manejar la información.
- Llevar un control de los datos.
- Orientar la obtención de conocimientos.

2.9 CODIFICACIÓN DE MÁQUINAS Y EQUIPOS

La codificación tiene por objeto establecer una identificación para las máquinas y equipos del taller de procesos de enseñanza aprendizaje que permita identificar a cada uno de los equipos adecuado y sus características de los mismos.

El código correspondiente de cada equipo está constituido por un sistema alfanumérico, el cual está compuesto por el código del área de trabajo y la clase de maquina o equipo, con su correspondiente consecutivo.

Figura 24. Estructura del código de equipos



Fuente: Gestión de sistema de calidad inventario

Código de equipo MEC – TP - 01

MEC = Taller de enseñanza


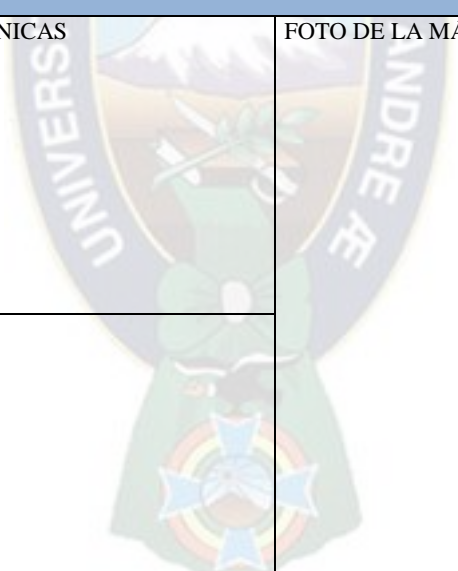
TP = Torno Paralelo

01 = Numero de equipo o máquina.

2.9.1.1 FICHA TÉCNICA

Es el registro donde se consignan las características técnicas y variables físicas de cada equipo como se ve en la siguiente tabla.1

Tabla 1. Ficha Tecnica

FICHA TÉCNICA DE MAQUINA Y EQUIPO								
REALIZADO POR:		Lic. Pablo Felipe Siripe				FECHA		
Sección Área Industrial								
MAQUINARIA-EQUIPO						UBICACIÓN		
FABRICANTE						SECCIÓN		
MODELO						CÓDIGO INVENTARIO		
MARCA								
CARACTERÍSTICAS GENERALES								
PESO			ALTURA			ANCHO		
						LARGO		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				FOTO DE LA MÁQUINA-EQUIPO				
FUNCIÓN:								
REVISADO POR:						Fecha		

Con la tabla 1 se pretende tener registrado las características técnicas de cada registro y la función de la máquina, esta forma poder tener un registro para la realización de posterior un plan de mantenimiento.

2.9.1.2 INVENTARIO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS

Este formato recoge las máquinas y equipos que se encuentran en el área de procesos de enseñanza y aprendizaje describiendo en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Inventario de Máquinas y Equipos

CODIGO	NOMBRE DE MAQUINA O EQUIPO	FABRICANTE	MODELO	SERIE	AÑO DE FABRICACION	DOCUMENTACION TECNICA						FICHAS DE MANTENIMIENTO					
						MF	MO	P	FT	C	LR	MA	MM	ME	CI	HM	

MF: MANUAL DEL FABRICANTE **FT:** FICHA TÉCNICA **MP:** MANTENIMIENTO PREDICTIVO **CA:** CARTA DE LUBRICACIÓN **MO:** MANUAL DE OPERACIÓN

C: CATÁLOGOS **MM:** MANTENIMIENTO MECÁNICO **HM:** HISTORIAS MAQUINAS Y EQUIPO **P:** PLANOS **LR:** LISTA DE REPUESTOS
ME: MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

2.9.1.3 CARTA DE LUBRICACIÓN

Describe las instrucciones sobre las actividades de lubricación que se deben realizar con determinada prioridad sobre el equipo describiendo en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Carta de Lubricación

MAQUINA:		FABRICANTE:		MODELO:		CODICO	
CLASE DE ACTIVIDAD:		RN: Revisar nivel y completar	RE: Revisar flojo	AA: Aplicar aceite	AG: Aplicar grasa		
FRECUENCIA DE LUBRICACION	MACANISMO /O PARTE A LUBRICAR	TIPO DE LUBRICACION		ACTIVIDAD	TIEMPO	LUBRICANTE	
						TIPO	LUBRICANTE

2.9.1.4 CONTROL DE LUBRICACIÓN

Formato que permite llevar registro de las actividades de lubricación realizadas en cada equipo como se ve en la siguiente tabla 4

Tabla 4. Control de Lubricación

MAQUINA:		FABRICANTE:			MODELO:		CODIGO:
FECHA DE CAMBIO D/M/A	MECANISMO/PARTE	HORAS DE OPERACIÓN	FRECUENCIA DE LUBRICACION	TIPO DE LUBRICANTE	CANTIDAD	FECHA PROXIMO DE CAMBIO	REALIZO

2.9.1.5 DATOS HISTÓRICOS DE LAS MÁQUINAS Y EQUIPOS

Es el documento en el cual se encuentran consignadas todas las actividades de mantenimiento efectuadas en el equipo como se describe en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Datos Históricos de Máquinas y Equipos

MAQUINA:		FABRICANTE:			MODELO:	SERIE:	CODIGO:
ORDEN DE TRABAJO	FECHA DE INICIO	TIEMPO EMPLEADO	DESCRIPCION DE LA FALLA	MANTENIMIENTO REALIZADO	MATERIAL UTILIZADO	REFERENCIA	EJECUTO

Tabla 6. Costos de Mantenimiento por equipo

EQUIPO:		CÓDIGO
FABRICANTE:	MODELO:	

ORDEN DE TRABAJO DE MANTTO.	FECHA D/M/A	TIEMPO EMPLEADO	COSTOS			
			MANO DE OBRA	MATERIALES Y RESPUESTO	INDIRECTOS	TOTAL

Tabla 7. Programa de Mantenimiento Predictivo

EQUIPO:		CÓDIGO
FABRICANTE:	MODELO:	

FRECUENCIA	TIPO DE MANTENIMIENTO	TIEMPO EMPLEADO	PARTE/ ELEMENTO CONSTRUCTIVO		

Tabla 8. Inspección de Máquinas y equipos

MAQUINA:		FABRICANTE:			MODELO:		CÓDIGO				
TIPO DE INSPECCION:					FRECUENCIA:						
ESTADO: B: BUENO R: REGULAR M: MALO		ASIGNADA POR:			ASIGNADA A:				FECHA: D/M/A		
ELEMENTO CONSTRUCTIVO	EQUIPO EN MOVIMIENTO		ESTADO			SE CORREGIO		GENERA SOLICITUD DE TRABAJO		OBSERVACIONES	
	SI	NO	B	R	M	SI	NO	SI	NO		
OBSERVACIONES:											
REALIZADO POR:						REVISADO POR:					
FIRMA:						FIRMA:					
NOMBRE:						NOMBRE:					
FECHA:						FECHA:					

Tabla 9. Orden de Trabajo de Mantenimiento

SOLICITADA POR:										FECHA: HORA:		SOLICITUD DE TRABAJO N°				
EQUIPO O INSTALACION										CODIGO		TIPO DE SOLICITUD				
PARTE:			ANOMALIA :				CAUSA			POSIBLE SOLU		DEPART. CONTROL DE MANTTO. GENERA ORDEN DE TRABAJO SI NO				
SOLICITADA POR: FIRMA: FECHA:						REVISADO POR: FIRMA: FECHA:				AUTORIZADO POR: FIRMA: FECHA:						
ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA POR:				ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA A:				FECHA: HORA:		ORDEN DE TRABAJO N°						
N°	DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS A REALIZAR											TIPO ORDEN DE TRABAJO NORMAL URGENTE				
												CONDICION DE TRABAJO TIEMPO PRODUCTIVO O IMPRODUCTIVO				
												TIPO DE MANTENIMIENTO ELECTRICO MECANICO				
MATERIALES, REPUESTOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS REQUERIDOS																
N°	CANTIDAD		DESCRIPCION										REFER	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
DESCRIPCION DE LOS DAÑOS ENCONTRADOS:												FECHA DE INICIO				
												D/M/A:	HORA:			
DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS REALIZADOS:												FECHA DE TERMINACION				
												D/M/A:	HORA:			
DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS REALIZADOS:												COSTOS				
												MANO DE OBRA				
												MATERIALES				
												TOTAL				
OBSERVACIONES RECOMENDACIONES :																
EJECUTO: FIRMA: FECHA:						RECIBIO Y APROBO: FIRMA: FECHA:										

3 CAPITULO III - DESARROLLO DEL TRABAJO

A continuación, se describe detalladamente la metodología utilizada para dar cumplimiento a los objetivos planteados en la realización del proyecto “Implementación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración en las máquinas herramientas de la institución tecnológico Don Bosco”. Se explican detalladamente las etapas del proyecto con todos sus procedimientos y datos necesarios para su desarrollo.

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Con esta etapa se inició la realización del proyecto, y consistió en la búsqueda y recopilación de información relacionada con el tema en diferentes fuentes bibliográficas tales como: textos, tesis de grado, publicaciones en Internet, normas internacionales, manuales de fabricantes, revistas, entre otros, con el propósito comprender y conocer a profundidad todo lo relacionado con el tema en estudio.

Para profundizar la información acerca de máquinas herramientas tornos y fresadoras sometidos a estudio, fue necesario realizar entrevistas informales no estructuradas al personal de la institución.

3.2 ETAPAS DE APLICACIÓN

Los procedimientos a realizar son los siguientes puntos:

3.3 OBSERVACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.

Se asistió a charlas introductorias con el propósito de conocer las normas de seguridad y los riesgos presentes al ingresar en cada una de las áreas de la planta. Posteriormente con los distintos funcionarios y/o trabajadores en la maestranza se realizó un recorrido por las distintas áreas de producción de la empresa para la explicación de los distintos procesos. y fallas más relevantes.

3.4 RECOPIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Para la recopilación de las características de diseño y condiciones de funcionamiento fue necesario revisar informaciones sobre fabricantes y archivos de la institución de cada uno de los equipos. cabe acotar que algunos manuales no se encontraban, por lo que fue necesario realizar visitas de campo, donde se verificaron directamente los datos de placas ubicadas en el exterior de los equipos y en otros casos fue necesario visitar el almacén de repuesto y talleres de mantenimiento por no conseguirse información sobre algunos elementos mecánicos instalados en los equipos. Las fallas presentadas en los equipos se obtuvieron en los trabajos cotidianos.

Toda esta información recopilada se organizó en fichas técnicas, esto con el propósito de mantener actualizada la información para futuros trabajos.

3.4.1 INVENTARIO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS

Tabla 10. Inventario de Maquinas Tornos Paralelos

CODIGO	EQUIPO	FABRICANTE	MODELO
MEC - TP - 01	Torno Paralelo		
MEC - TP - 02	Torno Paralelo		
MEC - TP - 03	Torno Paralelo		
MEC - TP - 04	Torno Paralelo		
MEC - TP - 05	Torno Paralelo		
MEC - TP - 06	Torno Paralelo		
MEC - TP - 07	Torno Paralelo		
MEC - TP - 08	Torno Paralelo	Kirloskar	India
MEC - TP - 09	Torno Paralelo		
MEC - TP - 10	Torno Paralelo	Kirloskar	S1
MEC - TP - 11	Torno Paralelo	China	IP-55
MEC - TP - 12	Torno Paralelo		
MEC - TP - 13	Torno Paralelo		
MEC - TP - 14	Torno Paralelo	Misal - sas - leto	Heron k/8
MEC - TP - 15	Torno Paralelo		
MEC - TP - 16	Torno Paralelo		
MEC - TP - 17	Torno Paralelo	Japones	TM-40
MEC - TP - 18	Torno Paralelo		
MEC - TP - 19	Torno Paralelo		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11. Inventario de Máquinas Fresadoras y otros

CODIGO	EQUIPO	MODELO	SERIE
MEC - FR-01	Fresadora Horizontal	FN2H-HMT	...
MEC - FR-02	Fresadora Universal	Brasilera	Romi U-30
MEC - FR-03	Fresadora Universal	TIGER MATIC	
MEC - FR-04	Fresadora Vertical		
MEC - FR-05	Fresadora Vertical	Rexon	6325
MEC - FR-06	Fresadora Vertical		
MEC- LM -01	Limadora		
MEC- LM -01	Limadora		
MEC- LM -01	Limadora		
MEC - TM- 01	Taladro Multiplo		
MEC - TA-01	Taladro Multiplo		
MEC - TA-01	Taladro de arbol		
MEC - CL - 01	Cilindradora Manual		
MEC - ES - 01	Esmeril		
MEC - ES - 02	Esmeril		
MEC - REC - 01	Rectificadora		
MEC - CZ - 01	Cizalladora		
MEC - CZ - 02	Cizalladora		

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 INSPECCIONES DE LAS MÁQUINAS Y EQUIPOS

En el registro se procede a anotar todo el aspecto de relevancia de cada una de las máquinas críticas a ser inspeccionadas para la realización de los análisis e implementación del mantenimiento predictivo.

3.4.2.1 FICHA TÉCNICA

Es el registro donde se consignan las características técnicas y variables físicas de cada equipo como se ve en la siguiente tabla 12

Tabla 12. Ficha Técnica

FICHA TÉCNICA DE MAQUINA Y EQUIPO							
REALIZADO POR:		Lic. Pablo Felipe Siripe		FECHA		03-02-18	
Área Industrial							
MAQUINARIA-EQUIPO		TORNO		UBICACIÓN		N° 8	
FABRICANTE		KIRLOSKAR		SECCIÓN		INDUSTRIAL	
MODELO				CÓDIGO INVENTARIO			
MARCA		BATLIBOL - INDIA					
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	800KG	ALTURA	1.2M	ANCHO	0.7M	LARGO	2.1M
<p>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS: Sus características son rango de velocidades, radio de volteo con escote 603mm y distancia entre centros de 750mm, su potencia de 5HP, su bancada de 0.400mm.</p>							
<p>FUNCIÓN: Realiza diferentes tipos de operaciones como ser refrentado, cilindrado, roscado, moleteado, tronzado etc.</p>							
REVISADO POR:		Msc.Ing. Andrade Mallea		Fecha		15/03/2018	

Tabla 13. Carta de Lubricación

MAQUINA: Torno Paralelo	FABRICANTE:	MODELO: Herón k/8	CÓDIGO
CLASE DE ACTIVIDAD: RN: Revisar nivel y completar RE: Revisar flujo AA: Aplicar aceite AG: Aplicar grasa			

FRECUENCIA DE LUBRICACION	MACANISMO /O PARTE A LUBRICAR	TIPO DE LUBRICACION		ACTIVIDAD	TIEMPO	LUBRICANTE	
						TIPO	LUBRICANTE
Diario	La mesa de la fresa	ISO 100	Diario	Mantenimiento Preventivo	2mim	ISO	AA
	El Cuerpo de la fresa	ISO 100	Diario	Mantenimiento Preventivo	2mim	ISO	AA

Tabla 15. Costos de Mantenimiento por Equipo

EQUIPO:		CÓDIGO
FABRICANTE:	MODELO:	

ORDEN DE TRABAJO DE MANTTO.	FECHA D/M/A	TIEMPO EMPLEADO	COSTOS			
			MANO DE OBRA	MATERIALES Y RESPUESTO	INDIRECTOS	TOTAL

Tabla 16. Programa de Mantenimiento Predictivo

EQUIPO:		CÓDIGO
FABRICANTE:	MODELO:	

FRECUENCIA	TIPO DE MANTENIMIENTO	TIEMPO EMPLEADO	PARTE/ ELEMENTO CONSTRUCTIVO		

Tabla 17. Inspección de Máquinas y Equipos

MAQUINA:			FABRICANTE:			MODELO:			CÓDIGO						
TIPO DE INSPECCION:						FRECUENCIA:									
ESTADO: B: BUENO R: REGULAR M: MALO			ASIGNADA POR:			ASIGNADA A:			FECHA: D/M/A						
ELEMENTO CONSTRUCTIVO	EQUIPO EN MOVIMIENTO		ESTADO			SE CORREGIO		GENERA SOLICITUD DE TRABAJO		OBSERVACIONES					
	SI	NO	B	R	M	SI	NO	SI	NO						
OBSERVACIONES:															
REALIZADO POR:						REVISADO POR:									
FIRMA:						FIRMA:									
NOMBRE:						NOMBRE:									
FECHA:						FECHA:									

Tabla 18. Orden de Trabajo de Mantenimiento

SOLICITADA POR:										FECHA: HORA:		SOLICITUD DE TRABAJO N°		
EQUIPO O INSTALACION										CODIGO		TIPO DE SOLICITUD		
PARTE:			ANOMALIA :				CAUSA			POSIBLE SOLU		DEPART. CONTROL DE MANTTO. GENERA ORDEN DE TRABAJO SI NO		
SOLICITADA POR: FIRMA: FECHA:						REVISADO POR: FIRMA: FECHA:				AUTORIZADO POR: FIRMA: FECHA:				
ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA POR:				ORDEN DE TRABAJO ASIGNADA A:				FECHA: HORA:		ORDEN DE TRABAJO N°				
N°	DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS A REALIZAR											TIPO ORDEN DE TRABAJO NORMAL URGENTE		
												CONDICION DE TRABAJO TIEMPO PRODUCTIVO O IMPRODUCTIVO		
												TIPO DE MANTENIMIENTO ELECTRICO MECANICO		
MATERIALES, REPUESTOS, HERRAMIENTAS E INSUMOS REQUERIDOS														
N°	CANTIDAD		DESCRIPCION								REFER	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
DESCRIPCION DE LOS DAÑOS ENCONTRADOS:											FECHA DE INICIO			
											D/M/A:		HORA:	
											FECHA DE TERMINACION			
											D/M/A:		HORA:	
DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS REALIZADOS:											COSTOS			
											MANO DE OBRA			
											MATERIALES			
											TOTAL			
OBSERVACIONES RECOMENDACIONES:														
EJECUTO: FIRMA: FECHA:										RECIBIO Y APROBO: FIRMA: FECHA:				

3.5 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN

En esta etapa fueron determinados los puntos de medición en cada uno de las máquinas herramientas, los puntos fueron marcados con el fin de realizar las mediciones siempre en el mismo lugar para lograr uniformidad en los resultados. Los puntos de medición fueron ubicados los más cercanos posible a cada apoyo de la máquina, por lo que fue necesario conocer la configuración interna y posiciones de las piezas presentes en cada torno y fresadora.

Las mediciones fueron realizadas en cada punto en tres direcciones vertical (V), horizontal (H) y axial (A), y de dependiendo de la configuración del equipo pueden existir, varios puntos de medición. Se muestra en las siguientes figuras los puntos de medición.

3.5.1 ANÁLISIS DE INCLINACIÓN

Para realización lo primero se prepara el piso de acuerdo a los datos que se tiene como se muestra en la siguiente figura.

Fotografía 1. Preparación para el anclaje



A través de la siguiente fotografía de demuestra el proceso de preparación para el realizar el empotrado del perno de anclaje con las medidas de 30*30cm, tomando precaución de nivelado horizontal y vertical.

Fuente: Fotografía tomada en la implementación

Fotografía 2. Proceso de nivelado



Fuente: Fotografía tomada en la implementación fase 2

En esta fase se procede al nivelado de la máquina con un instrumento llamado inclino metro marca Bosch modelo DNM6 Made en USA calibrado que mide inclinación por metro tomando en cuenta todo los entremos, cuerpo, la base, el husillo y las coordenadas x, y y z.

Fotografía 3. Proceso de nivelada mesa de trabajo máquina fresadora



Fuente: Fotografía tomada en la implementación fase 3

Nivelado de mesa de trabajo de la máquina fresadora universal, tomando las coordenadas correspondientes hasta llegar a cero grados.

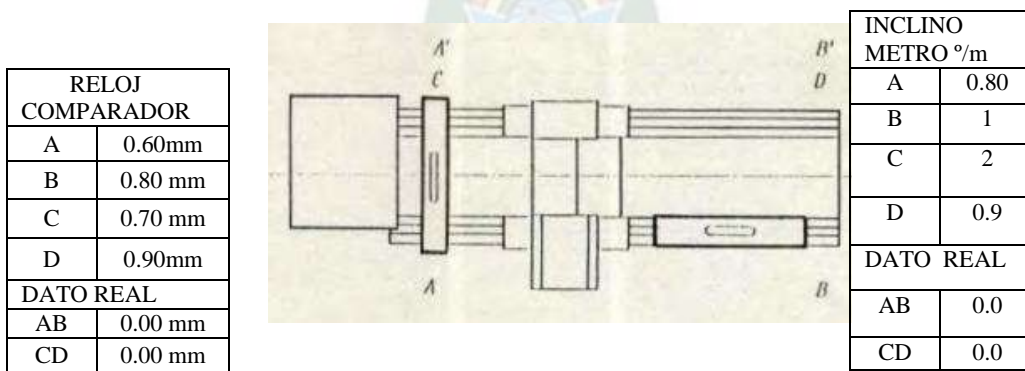
Fotografía 4. Proceso de nivelada el cuerpo de la máquina fresadora



Fuente: Fotografía tomada MEC-FR-02

El proceso de nivelado del cuerpo de la máquina fresadora con el instrumento correspondiente siempre buscando verticalmente cero grados.

Figura 25. Nivelación del torno en posición longitudinal y transversal



Fuente: Según norma Schlesinger

Figura 26. Medición del giro concéntrico del husillo principal

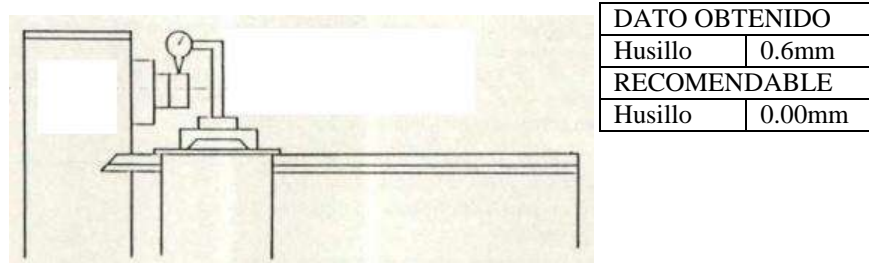


Figura 27. Estabilidad axial del árbol principal

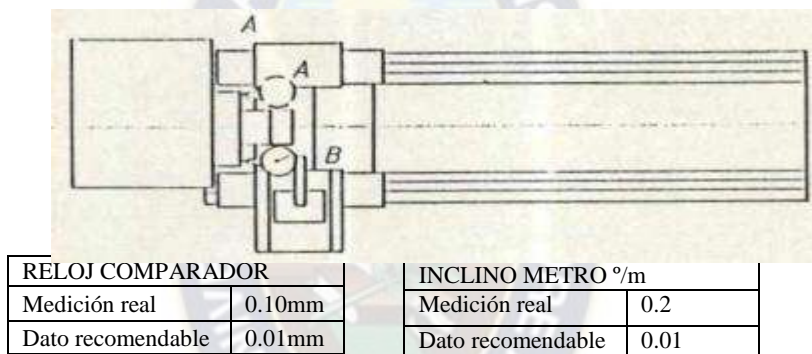


Figura 28. Giro concéntrico del cono interior y paralelismo en el árbol principal

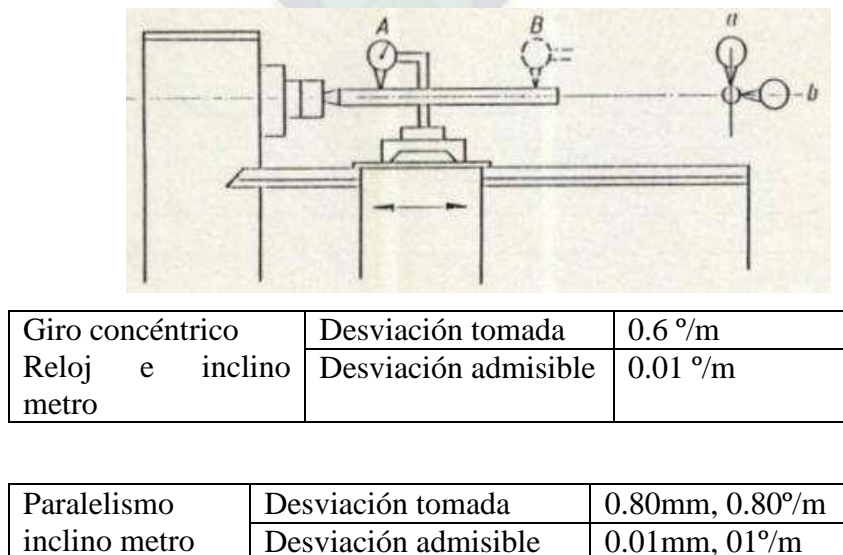
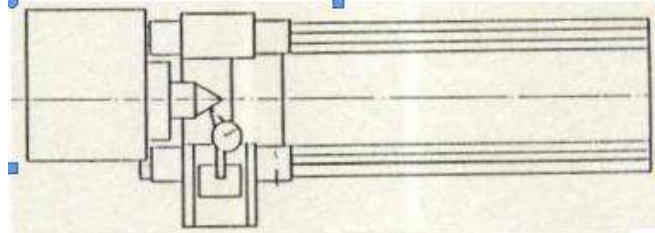
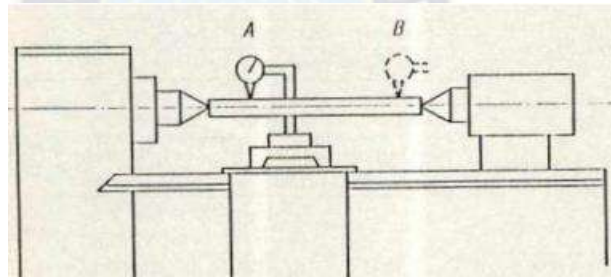


Figura 29. Giro concéntrico de la punta en el árbol principal



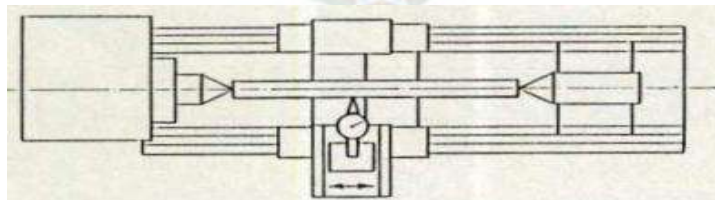
RELOJ COMPARADOR	
Medición real	0.10mm
Dato recomendable	0.02mm

Figura 30. Paralelismo del eje trabajo a la bancada en posición vertical



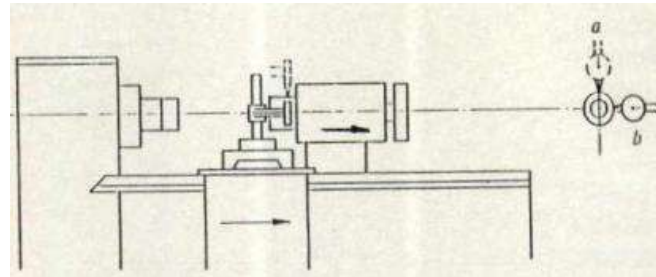
RELOJ COMPARADOR	
Medición real	0.03mm
Dato recomendable	0.01mm

Figura 31. Reglas del movimiento longitudinal



RELOJ COMPARADOR	
Medición real	0.7mm
Dato recomendable	0.02mm

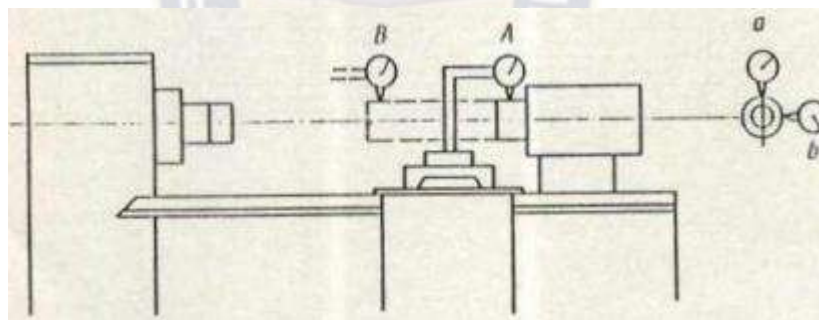
Figura 32. Paralelismo entre bancada y cabeza móvil



RELOJ COMPARADOR	
Medición real	0.4mm
Dato recomendable	0.01mm

INCLINO METRO %/m	
Medición real	0.5
Dato recomendable	0.01

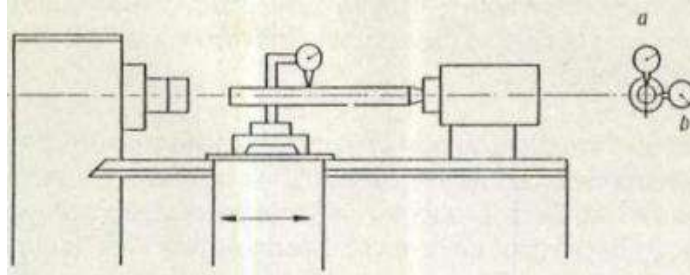
Figura 33. Paralelismo de la pínula a la bancada en el plano horizontal y vertical



RELOJ COMPARADOR	
Medición real	0.4mm
Dato recomendable	0.02mm

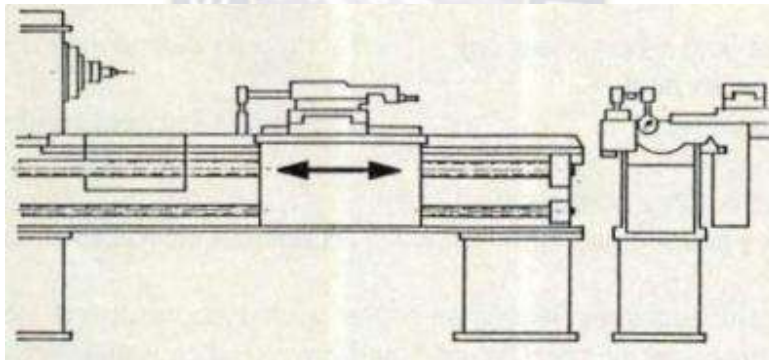
INCLINO METRO %/m	
Medición real	0.3
Dato recomendable	0.01

Figura 34. Cono de la pínula paralela a la bancada



RELOJ COMPARADOR		INCLINO METRO %/m	
Medición real	0.4mm	Medición real	0.3
Dato recomendable	0.02mm	Dato recomendable	0.01

Figura 35. Verificación del desgaste de guías de la bancada y posicionamiento del escote.



3.6 ANÁLISIS DE ULTRASONIDO

La detección de ultrasonido es una técnica de mantenimiento predictivo que aprovecha las propiedades de las ondas sonoras para detectar los problemas de los equipos de las plantas industriales de una forma rápida, exacta y segura.

El sonido está conformado por un conjunto de ondas mecánicas longitudinales producidas por la vibración de los objetos y propagadas a través de un medio elástico (aire, líquido o metal). Este tipo de ondas pueden estimular el oído humano y generar una sensación sonora.

3.6.1 LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA ONDA DE SONIDO SON (A., 2011):

- **Ciclo:** Es el movimiento completo de la onda.
- **Longitud:** Es la distancia necesaria para completar un ciclo. Por lo general se denota como λ .
- **Decibel (Intensidad de Sonido):** Es la expresión logarítmica de la relación de dos amplitudes o intensidades de energía acústica. El decibel es la unidad práctica para los niveles de intensidad relativa de sonidos audibles. En general, mayor la intensidad, más fuerte el tono escuchado. El juicio de nivel es afectado por la frecuencia, así como la intensidad.
- **Amplitud:** Es el valor máximo en sentido positivo y negativo que alcanza la onda sonora, la amplitud de una onda no depende de la frecuencia de la onda.
- **Frecuencia:** Es el número de ciclos por unidad de tiempo.
- **Resonancia:** Es un fenómeno que ocurre cuando dos objetos vibran naturalmente a la misma frecuencia.

Figura 36. Equipo Ultrasonica

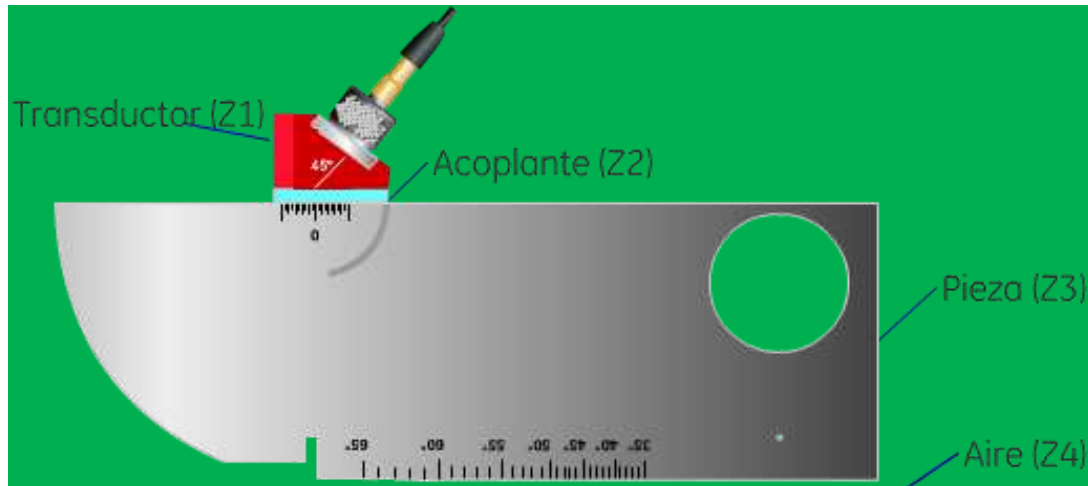


Fuente: Equipo Ultrasonido modelo USM35X

INTERFASE ACÚSTICA

- Es el límite entre dos materiales o medios con diferente impedancia acústica

Figura 37. Ondas Sonoras



Fuente: Material de Lic. Pablo Castelu exposición de Ultrasonidos

La detección de ultrasonido es una técnica empleada en el mantenimiento industrial basada en el estudio de las ondas sonoras de alta frecuencia y baja longitud de onda, que se producen en los equipos cuando algo anormal está sucediendo.

Esta herramienta está fundamentada en el hecho de que las fuerzas de rozamiento, las descargas eléctricas y las pérdidas de presión o vacío en las plantas, generan ondas sonoras de alta frecuencia, corta longitud y rápida pérdida de energía lo cual permite localizar con exactitud los problemas en los equipos antes de que se produzcan fallas que interrumpan el desarrollo normal de la planta de producción.

Figura 38. Elementos del equipo ultrasonido



Fuente: Fotografía de accesorio equipo ultrasonido

Figura 39. Detectores de Ultrasonido en el cuerpo de la MEC-FR-02



Fuente: Propia

El principio es traer un sonido del rango que no es audible por el ser humano a un espectro de sonido que, si lo es, y además que un rodamiento suene como rodamiento y una fuga suene como tal.

El ultrasonido recibido hace presión en el transductor y hace que el transductor genere energía eléctrica. El sonido es amplificado y luego heterodinado.

El principio heterodino es usado para convertir las frecuencias ultrasónicas a un nivel adecuado audible para los humanos. En el proceso heterodino, la señal audible es una traducción directa de la señal original. En el proceso heterodino, la señal ultrasónica de entrante es mezclada con una señal interna del oscilador y la diferencia es amplificada y entonces enviada a la salida del audífono.

Las aplicaciones más comunes incluyen la detección de fugas, monitoreo de la condición y lubricación basada en la acústica de rodamientos.

Una colección de datos de ultrasonido ofrece una valiosa información para identificar las condiciones normales de funcionamiento y analizar cambios que afectan la entrega del servicio esperado del equipo productivo.

Con un Monitoreo adecuado de condiciones a través de la Técnica de Ultrasonido se puede analizar:

- Lubricación basada en la condición acústica
- Detección de fugas de aire comprimido
- Inspecciones eléctricas.
- Cavitación en bombas.
- Análisis de daños en Rodamientos.

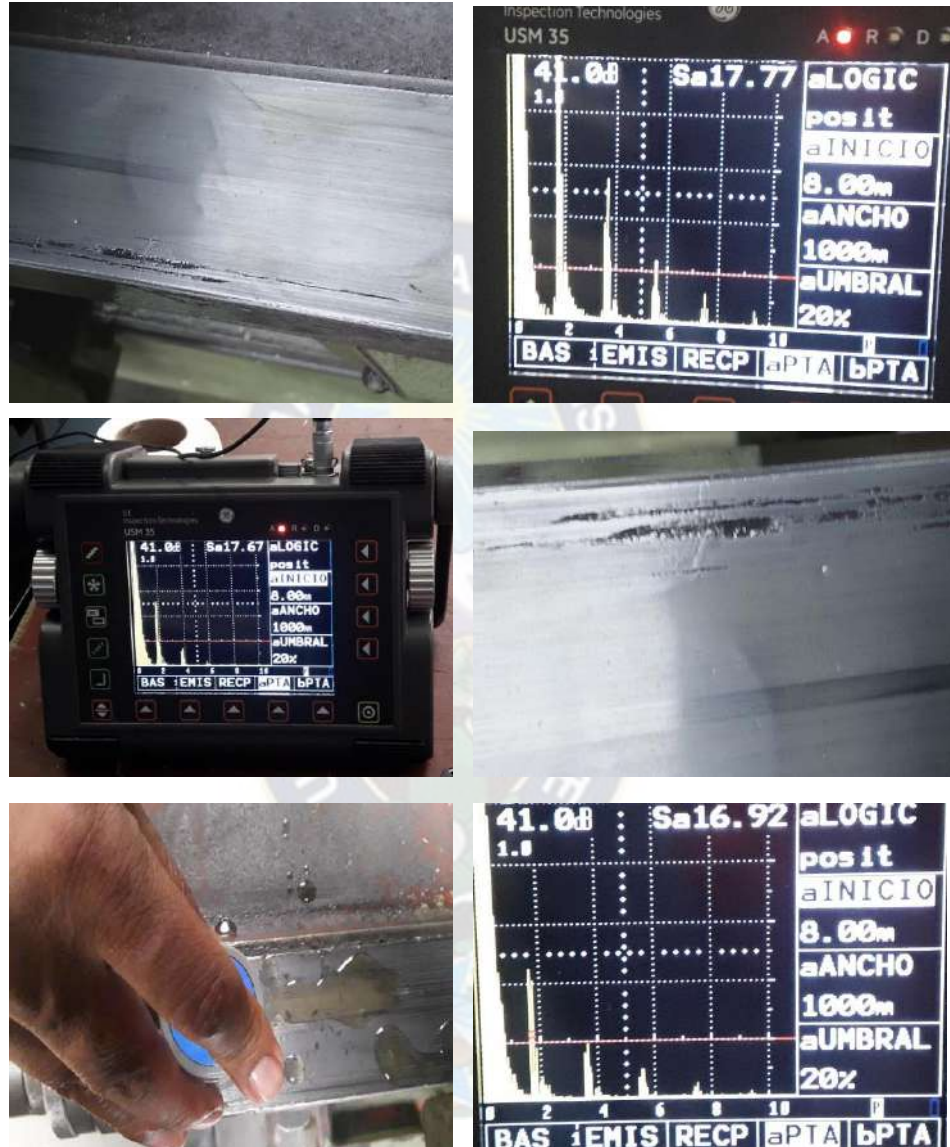
Figura 40. Inspecciones Ultrasónicas



Fuente: Procedimiento Propio

Resultado de las mediciones que muestran en la figura 38 las irregularidades debido a montaje inadecuado provocando el desgaste rápido en las superficies, esto ocasiona la pérdida de precisión en el mecanizado de elementos mecánicos y baja calidad de los productos.

Figura 41. Resultados de las inspecciones



Fuente: Fotografías tomadas en el proceso Implementación-Propia

Los resultados que se pueden evidenciar en los diferentes espectros que indican los síntomas y desgaste que se produce debido al no aplicación de principios de mantenimiento predictivo y mal montaje de las máquinas. Por lo tanto, para evitar estos problemas se debe realizar un montaje adecuado y verificación constante.

3.7 ANÁLISIS DE MEDICIÓN POR VIBRACIÓN

Para llevar un orden, evitar confusiones y ahorrar tiempo a la hora de recolectar los datos fue necesario definir varias. Esta ruta fue organizada de acuerdo a los ejes de coordenadas.

Figura 42. Resultados de las inspecciones



Fuente: Propia

Figura 43. Teclado del Equipos de Vibración



Fuente: Equipo vibración Modelo CSI 2120

Analizador de vibración modelo CSI 2120 con cargador y estuche de cuero y equipo industrial, prueba, medición e inspección.

3.8 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.9 INTRODUCCIÓN

Para establecer un correcto diagnóstico del estado actual en que se encuentran las máquinas herramientas que están montadas en los laboratorios de la carrera de mecánica industrial, se ha realizado un monitoreo mediante las técnicas predictivas de análisis vibracional y nivel georeferenciado electrónico digital.

Mediante las técnicas descritas, se establece si un equipo está bien o tiene deficiencias en el montaje estructural y mecánico de una máquina que esté destinada para trabajo industrial de precisión.

3.9.1 DIAGNÓSTICO MEDIANTE ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Para el análisis de los datos experimentales, se ha utilizado un analizador de última generación de marca CSI modelo 2120 de fabricación norteamericana, con certificado de calibración del año 2017. Este analizador cuenta con el software del fabricante llamado RBM que es nada más una plataforma basada en la confiabilidad y las herramientas del RCM.

Para el análisis se ha realizado la conformación de una base de datos en la cual se incluyen parámetros de análisis especiales, como es el uso de filtros pasa banda para frecuencias que atenúen las principales señales que se quieren recolectar. Así mismo para el análisis de los datos se contrata los servicios profesionales de una especialista en el análisis de vibración con certificación internacional nivel III, quien colabora con el análisis de los datos recolectados. De esta forma se comienza a exponer los resultados obtenidos.

La toma de datos se realiza de manera independiente, es decir que se hace funcionar el equipo de manera individual, sin que exista la influencia de ondas mecánicas externas que afecten a la medición o produzcan la interferencia de la señal.

3.9.2 DESCRIPCIÓN DE LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se ha descrito en el capítulo de la descripción teórica, se utiliza la metodología de la medición mediante planos ortogonales de posicionamiento del sensor, para lo cual se ha utilizado un acelerómetro con certificación en su calibrado.

3.9.2.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Los criterios de evaluación que se utiliza son:

- Criterio de evaluación I: Es la magnitud de la amplitud de vibración alcanzada en la toma de datos. Criterio usado cuando no se posee información sobre el historial vibratorio de la máquina.
- Criterio de evaluación II: Es el cambio de magnitud de la amplitud de la vibración. Basado en el historial disponible para su análisis.

En base a lo descrito, se va a utilizar el criterio de evaluación I, porque no se tiene un historial de los equipos a medir, de manera que estas mediciones se reflejan de manera puntual instantánea en el funcionamiento.

3.9.3 NORMAS DE REFERENCIA

Lo primero que se debe especificar es lo que se entiende por “medición en partes no rotatorias”. Esto no es más que la medición de la vibración en un punto que logre entregar datos representativos del movimiento del equipo, en algún elemento que no gire mientras el equipo está en operación. En la gran mayoría de los casos se realizará la medición en los descansos del equipo, pero cuando esto no es posible, deberá

realizarse en la carcasa o algún otro punto que sea accesible o lo suficientemente seguro para el analista que monitorea y toma datos.

La aplicación de las normas de evaluación de severidad vibratoria por medición en partes no rotatorias de la máquina está dada por la norma ISO 10816-3, que va a ser una base en la que se tome en cuenta un parámetro de comparación y establece un límite de alarmas, el cual tiene que ser parametrizado.

Norma ISO 10816-3

“Vibración mecánica – Evaluación de la vibración de máquinas en base a su medición. Parte 3: Maquinas industriales con potencia nominal sobre 15 Kw y velocidades nominales entre 120 rpm y 15000 rpm

Los criterios de vibración de este estándar se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 Kw y velocidades de 120 rpm y 15000 rpm. Los criterios son sólo aplicables para vibraciones producidas por la propia máquina y no para vibraciones que son transmitidas a las máquinas desde fuentes externas. El valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración se utiliza para determinar la condición de la máquina. Este valor se puede determinar con casi todos los instrumentos convencionales para la medición.

3.9.4 MAQUINAS CONTEMPLADAS EN LA ISO 10816-3

- Turbina a vapor con potencia de hasta 50 MW
- Turbina a vapor con potencia mayor a 50 MW de velocidades bajo 1500 rpm
- Compresores rotatorios
- Turbinas a gas industriales con potencia hasta 3 MW
- Bombas centrifugas, de flujo axial o mixto.
- Motores eléctricos de cualquier tipo.
- Sopladores o ventiladores.

- Generadores, excepto cuando son usados en plantas de bombeo o generación hidráulica.

Nota:

- Esta norma se aplica tanto a monitoreo continuo como periódico.
- Se aplica solo a vibraciones producidas por la máquina, no contempla vibraciones externas que se transmitan hacia ella.
- Si bien la norma se puede aplicar a máquinas que contengan engranajes (reductores) y rodamientos, este estandar no está orientado a diagnosticar la condición particular de estos elementos.

3.9.5 CLASIFICACIÓN POR GRUPOS

Grupo 1: Máquinas rotatorias grandes con potencia nominal sobre 300 Kw. Máquinas eléctricas con altura de eje $h \geq 315$ mm

Grupo 2: Máquinas rotatorias medianas con potencia nominal entre 15 y 300 Kw. Máquinas eléctricas con altura de eje entre 160 y 315 mm

Grupo 3: Bombas con impulsor multi-etapas y con motor separado (flujo centrifugo, axial o mixto) con potencia sobre 15 Kw

Grupo 4: Bombas con impulsor multi-etapas y con motor integrado (flujo centrifugo, axial o mixto) con potencia sobre 15 Kw

Se define “altura de eje” como la distancia medida entre la línea de centro del eje y el plano basal de la misma. Cuando se tienen máquinas sin patas, máquinas verticales en un marco o, cuando el soporte es desconocido: puede ser considerada la altura del eje como la mitad del diámetro de la máquina.

3.9.6 CLASIFICACIÓN POR FLEXIBILIDAD DEL SOPORTE ESTRUCTURAL

1. Soporte rígido: Si la primera frecuencia natural del sistema máquina-soporte, en la dirección de la medición, es más alta que su principal frecuencia de excitación, la que generalmente es la frecuencia de excitación, en por lo menos un 25%; entonces el soporte puede considerarse como rígido. Es decir, $\omega_n \geq 1.25\Omega$, donde Ω corresponde a la frecuencia de excitación.
2. Soporte flexible: Se considera como soporte flexible, a todo aquel soporte que no cumpla con la definición anterior, es decir $\omega_n < 1.25\Omega$.

3.9.6.1 CRITERIO DE EVALUACIÓN I:

Evaluación de la magnitud de la vibración

Este criterio es usado cuando no se dispone de información acerca del comportamiento vibratorio de la máquina, o cuando se ha realizado algún cambio de una pieza y se desea comenzar con un historial desde cero. Una vez que se han establecido los valores típicos de vibración, se recomienda usar el criterio II de la norma (evaluación del cambio de magnitud).

El método consiste en encasillar la máquina que se desea evaluar dentro de los grupos vistos y la flexibilidad del o los soportes. Luego medir la amplitud de la vibración, ya sea en desplazamiento RMS o velocidad RMS, ver en el rango vibratorio en la que se encuentra y ver que nos dice la tabla, o en qué zona de severidad se encuentra.

Los valores límite para zonas de evaluación, se encuentran dados en las tablas contiguas. Para usar las tablas, debe considerarse el valor más alto medido en las direcciones radiales y axiales de cualquier descanso de la máquina.

3.9.6.2 TOMA DE DATOS

Los datos que se han recopilado es parte de la prueba experimental de esta tesis, los cuales han sido tomados de manera real, con un analizador de vibraciones de última generación, con la capacidad de generar espectros y formas de onda, que son parte avanzada del análisis de vibraciones, denotando toda la seriedad que debe tener un estudio de esta naturaleza.

DATOS DEL ANALIZADOR

El analizador utilizado es de la marca CSI modelo 2130 de fabricación norteamericana, que tiene varias funcionalidades que a continuación se describe:

- Rango de frecuencia: 740 rango desde DC 10 Hz hasta DC 80 KHz
- Resolución: Desde 100 hasta 12800 líneas por pulg
- Unidades de frecuencia: Hz, cpm y ordenes
- Escalas: Lineal o logarítmica en ambos ejes x e y

3.9.6.3 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

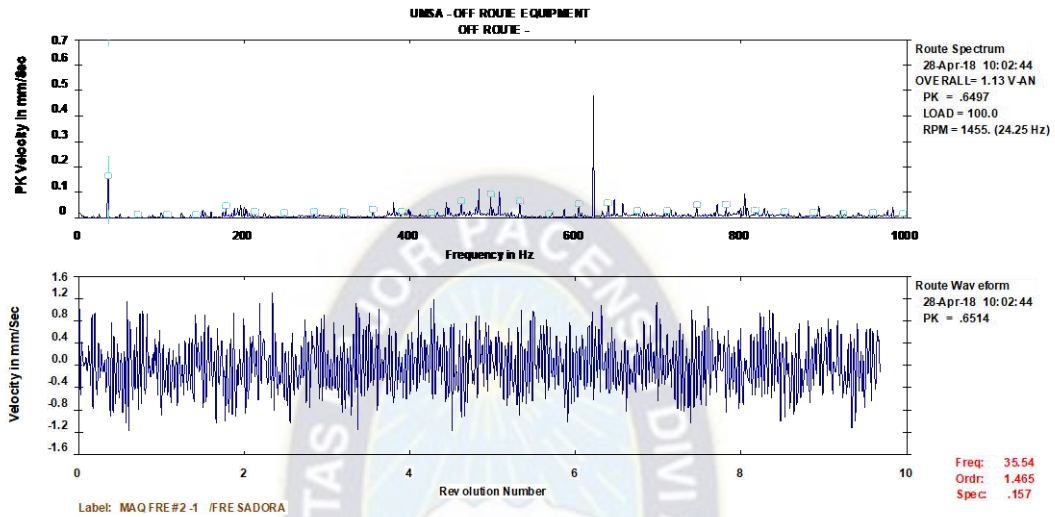
La medición de vibraciones se realiza en los talleres de la carrera de mecánica industrial, en cada una de las unidades de enseñanza que son los tornos, fresas y taladros de banco. Utilizando como se ha descrito un analizador avanzado de vibraciones.

ESPECTROS Y FORMAS DE ONDA

Para realizar un análisis de vibraciones, se toma como información fundamental los espectros y formas de onda tomadas en los equipos del taller. Esta información es utilizada en el software de vibraciones y los gráficos se interpretan de acuerdo con los patrones estudiados en el capítulo anterior.

FRESADORA VERTICAL N° 1

Se realiza la toma en los planos vertical, horizontal y axial; de manera que se obtiene los espectros más representativos, para interpretar los resultados



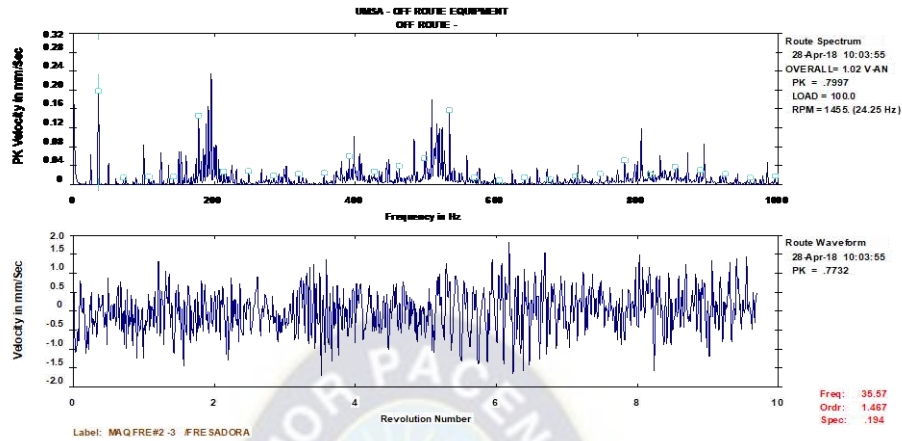
Diagnóstico:

En el espectro se puede observar:

- Se manifiesta la frecuencia de engrane (GMF) del tren de engranajes como pico representativo, denotando algo de fricción, que muestra deficiencia en la lubricación de los engranajes del sistema.

FRESADORA UNIVERSAL N° 2

- En este equipo se realiza una toma más detallada, ya que se ha podido observar un mayor nivel global del sistema. De manera que se tuvo que realizar más puntos de toma en la sección motriz y los elementos estructurales del equipo.



Diagnostico:

- En el espectro se puede observar la manifestación de la primera armónica 1X y la segunda armónica 2X mostrando que existe desalineamiento entre ejes.
- De la misma forma se puede observar que se manifiesta un pico de la GMF del par de engranes que tiene la fresa en su transmisión de movimiento al eje de las cuchillas (198 Hz), el cual se interpreta como desalineamiento paralelo entre engranes.
- Se puede observar el levantamiento del espectro en media y alta frecuencia denotando fricción entre parte rotatorias.

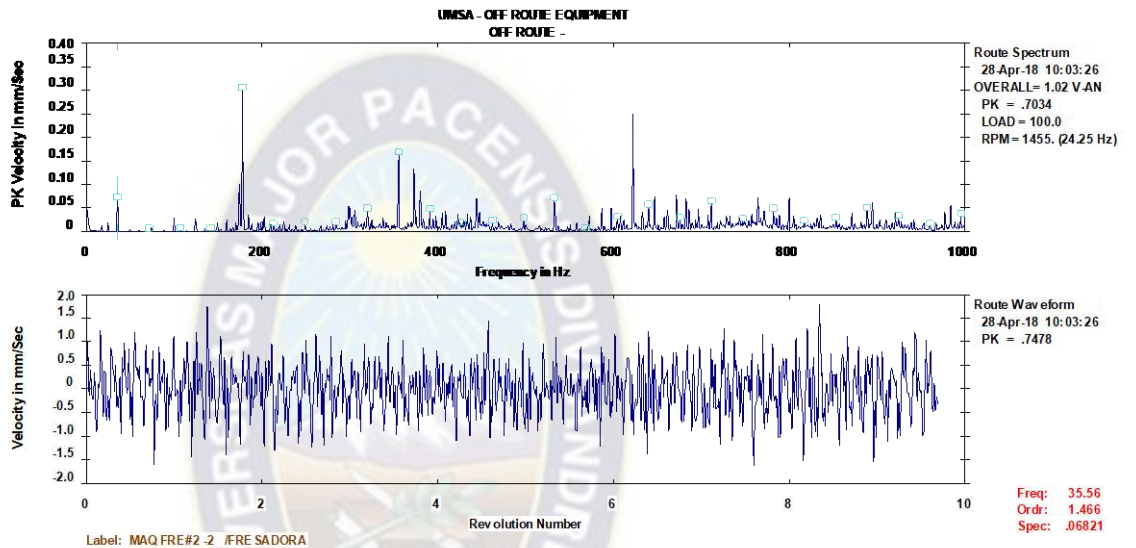
FRESADORA UNIVERSAL N° 2

En este equipo se realizó de acuerdo con el diagnóstico, el plan de mantenimiento preventivo y correctivo necesario, como para que su operación sea eficiente, no desgaste prematuramente en sus componentes más críticos y tenga elevada confiabilidad.

Se toma datos después de la intervención, los resultados son los siguientes:

- Se manifiesta la frecuencia de engrane sin armónicos, producto del funcionamiento de los engranajes que es normal

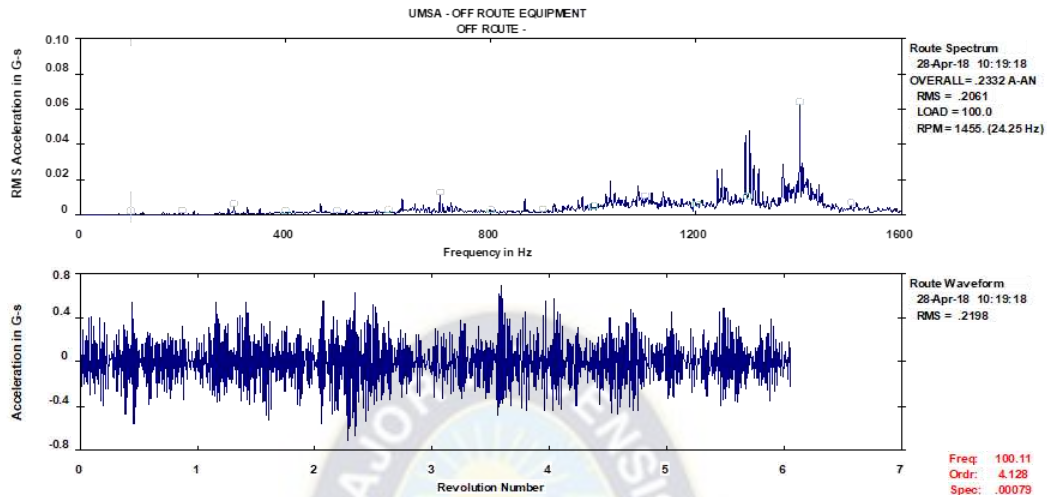
- Se observa que existe la manifestación de algunos eventos en alta frecuencia, pero de muy baja amplitud, que muestra la fricción entre componentes en movimiento, que es normal en el funcionamiento de máquinas y herramientas.



Espectro después de la intervención

FRESADORA UNIVERSAL N° 3

En este equipo se realiza una toma de datos general, para evaluar el estado de esta. Se realiza mediciones en los elementos móviles y sus apoyos (cojinetes o rodamientos)

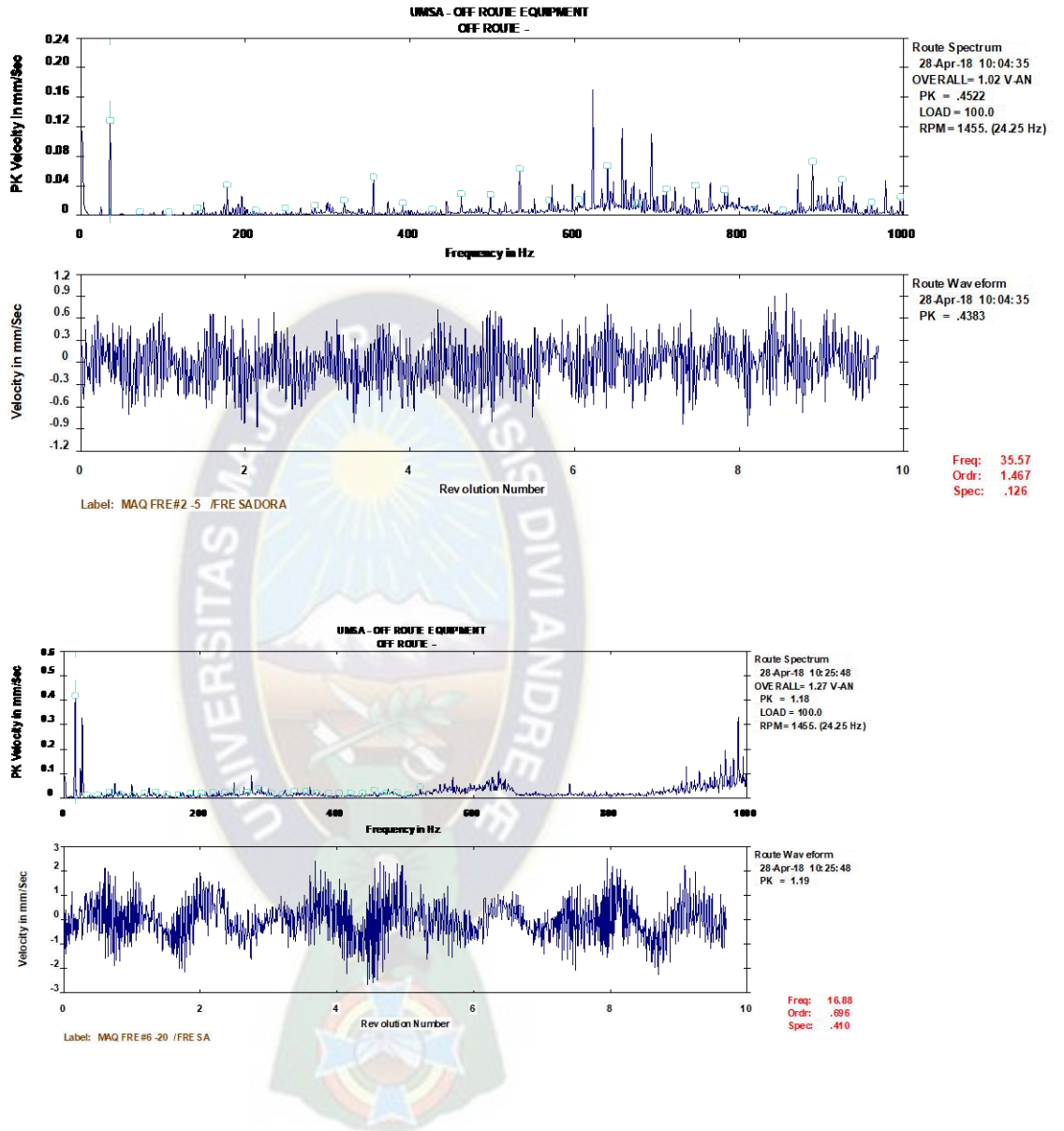


Diagnostico

- En el espectro se puede observar la manifestación del levantamiento de la banda espectral en alta frecuencia, denotando fricción anormal.
- Es evidente la falta de lubricación en los elementos rodantes que tiene la unidad

FRESADORA VERTICAL N° 4

- En este equipo se ha podido realizar una medición de vibraciones con el analizador, en los puntos más significativos de la máquina herramienta. De todos los puntos tomados, se muestra el punto más significativo, que ofrece más información.

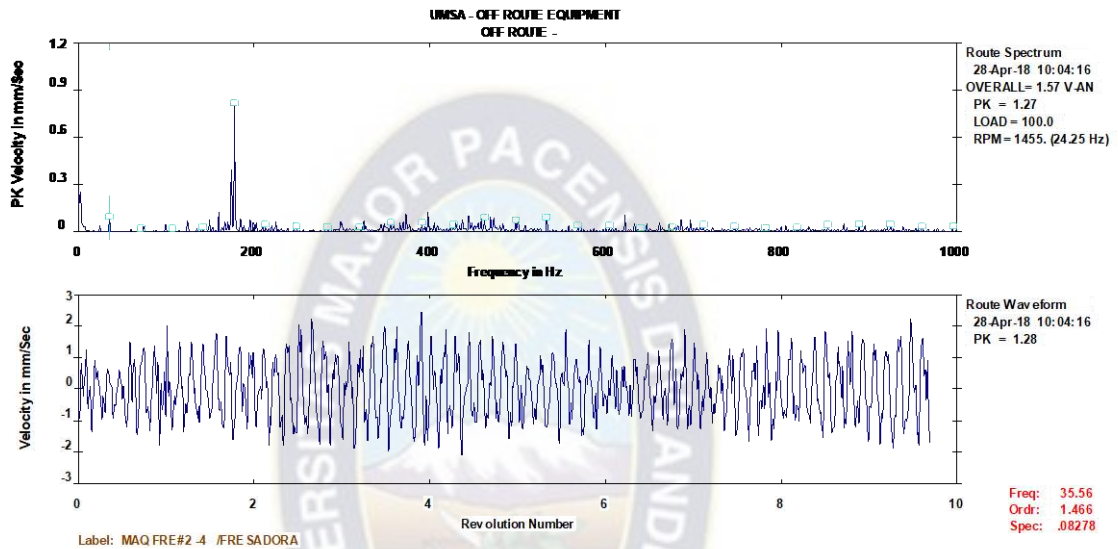


DIAGNOSTICO

- Se observa un pico denominado GMF que es la frecuencia de engrane de la transmisión de potencia, que es normal en este tipo de equipos.
- Se puede observar actividad en alta frecuencia, producto de exceso o defecto de lubricante en su par de engranes que dan movimiento rotatorio a los ejes principales de la fresa.

FRESADORA VERTICAL N° 5

Es esta unidad se ha podido realizar la toma de datos, estableciendo que la unidad tiene varios puntos de toma, que debe ser mostrado lo más relevante de lo recolectado.

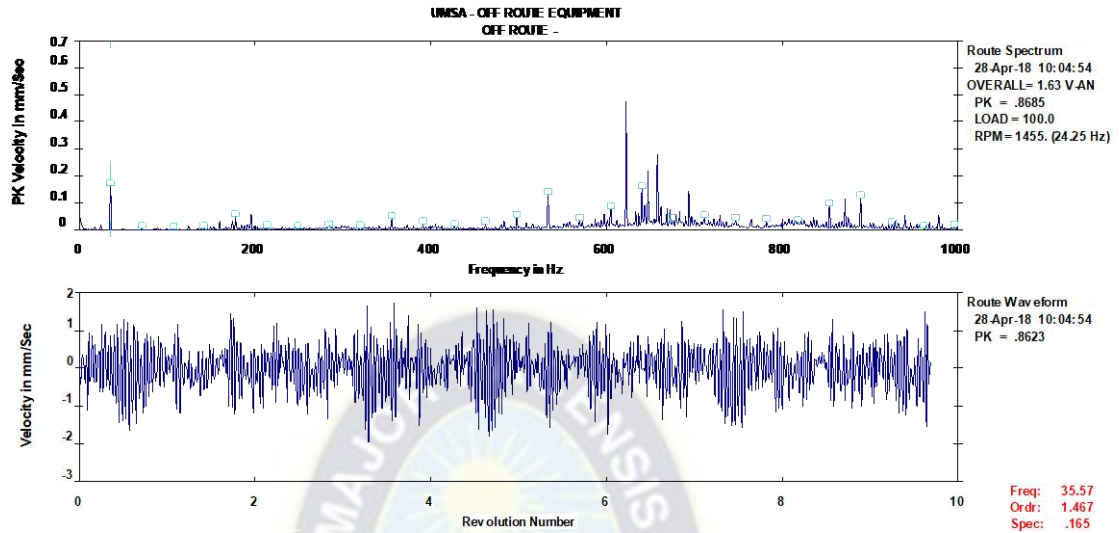


DIAGNOSTICO

- En el espectro se puede observar un pico dominante que representa la frecuencia de engrane de la transmisión de potencia y movimiento al mecanismo de accionamiento de la fresa.
- Se observa normalidad en la toma por no encontrar más patrones representativos ni en el espectro o en la forma de onda,

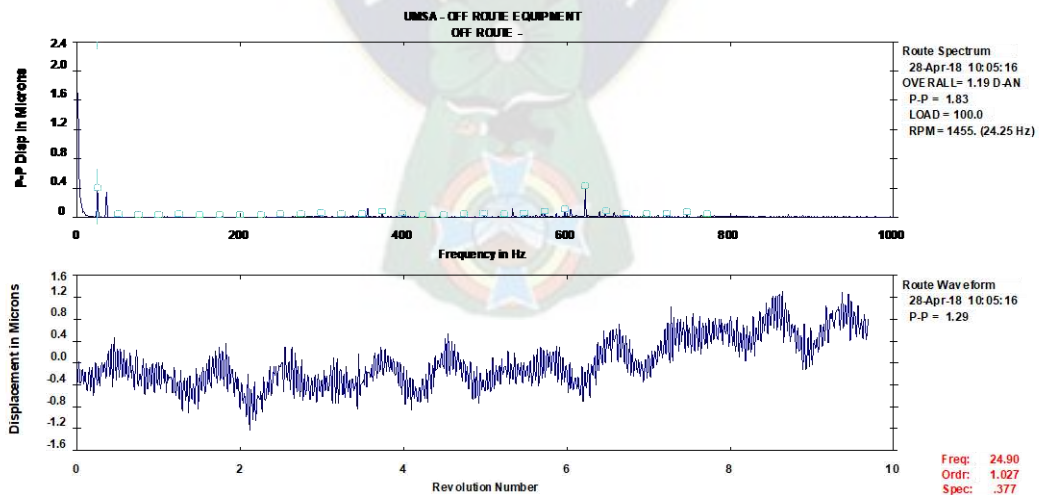
FRESADORA VERTICAL N° 6

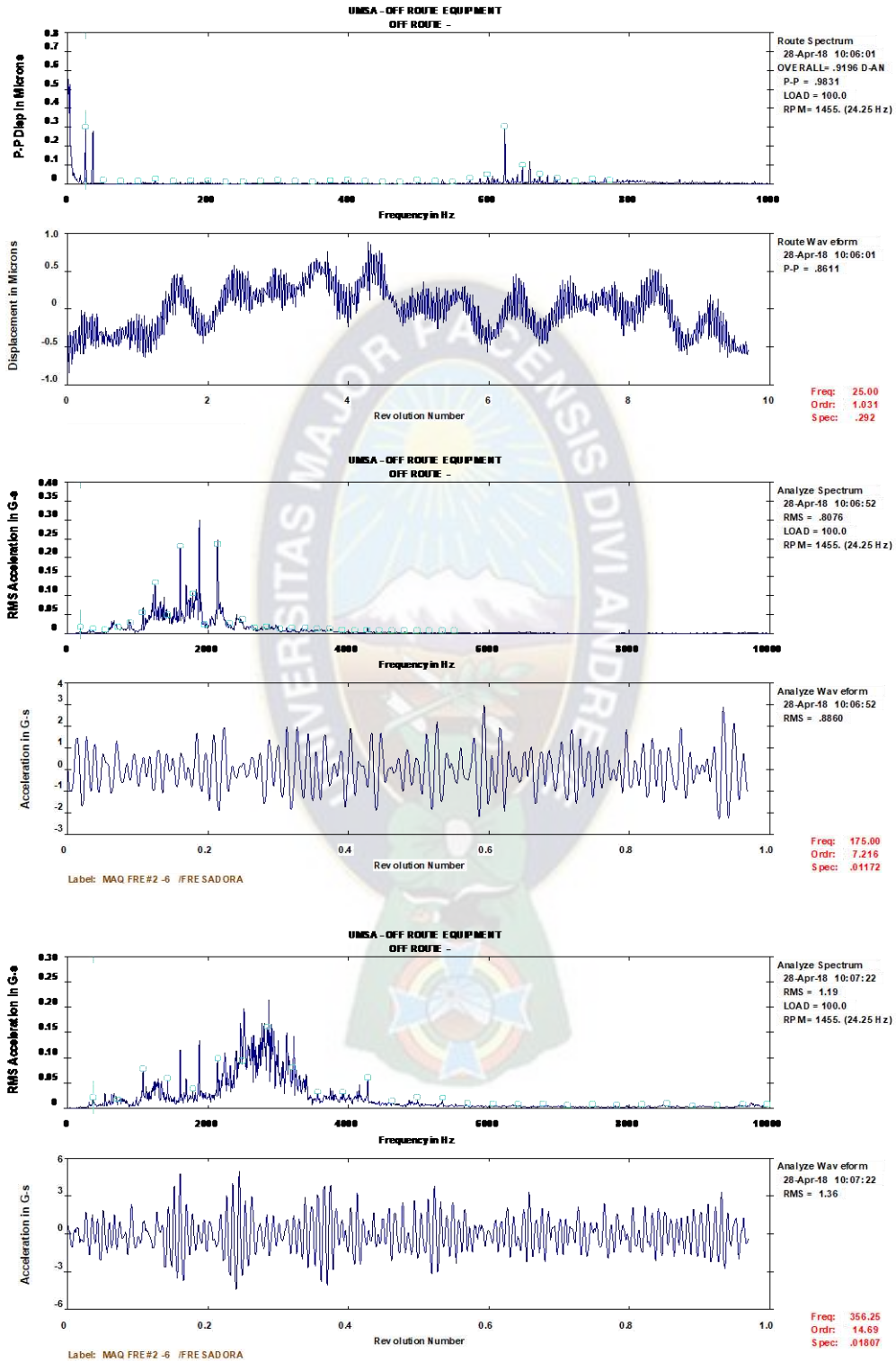
Se realiza la toma de datos en esta unidad, primero con filtros pasa bajo y luego generando un espectro con amplitud de la frecuencia hasta 20k Hz. Por la necesidad de tener una mejor evaluación.



DIAGNOSTICO

- En esta toma se puede observar la manifestación de actividad en alta frecuencia, con picos sincrónicos y varios asincrónicos.
- En la forma de onda se denota impactos de nivel 3G, de manera que dichos impactos y el levantamiento del espectro está en alta frecuencia, denotando fricción y desalineamiento entre elementos importantes como es de suponer.

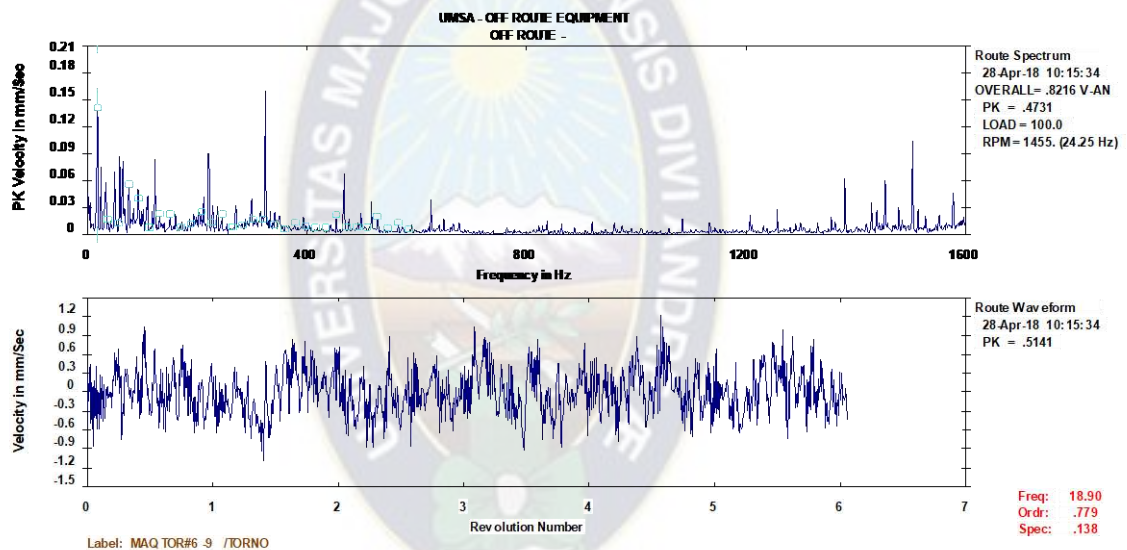




TORNO N° 3

Se realiza una toma de datos en los tornos que tiene la unidad educativa, se utiliza el analizador de vibraciones CSI 2130. Las tomas se realizan en 3 planos (2 radiales y 1 axial) de las cuales se muestra la más representativa.

A diferencia de las fresas, los tornos tienen una relación de transmisión más amplia que las fresas, de manera que las pruebas se hacen a la mayor revolución que se tenga la máquina, para que la frección o impactos se reflejen con mayor claridad en la análisis de vibraciones.



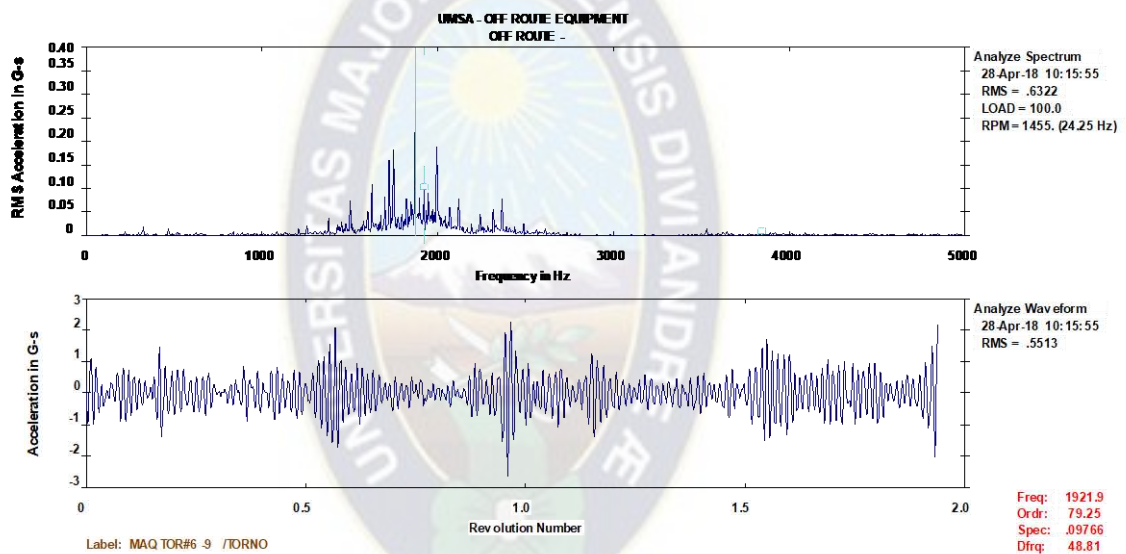
DIAGNOSTICO

- Se puede observar que se manifiesta varias armónicas de la velocidad de rotación mostrando soltura mecánica en su conformación de alguno de los componentes.
- Así mismo se observa la manifestación de picos asincrónicos, los cuales muestran que existe rozamiento y la manifestación de frecuencias de engrane del tren de engranajes que tiene la máquina herramienta.

Se puede observar el levantamiento del espectro en alta frecuencia, hecho que denota la deficiente lubricación que tiene la unidad en varios de sus componentes de la transmisión.

TORNO N° 4

En esta unidad se realiza la toma de vibraciones en varios puntos de la transmisión y de los apoyos del cabezal y en su estructura. La toma de vibraciones se realiza a máxima revolución y potencia.

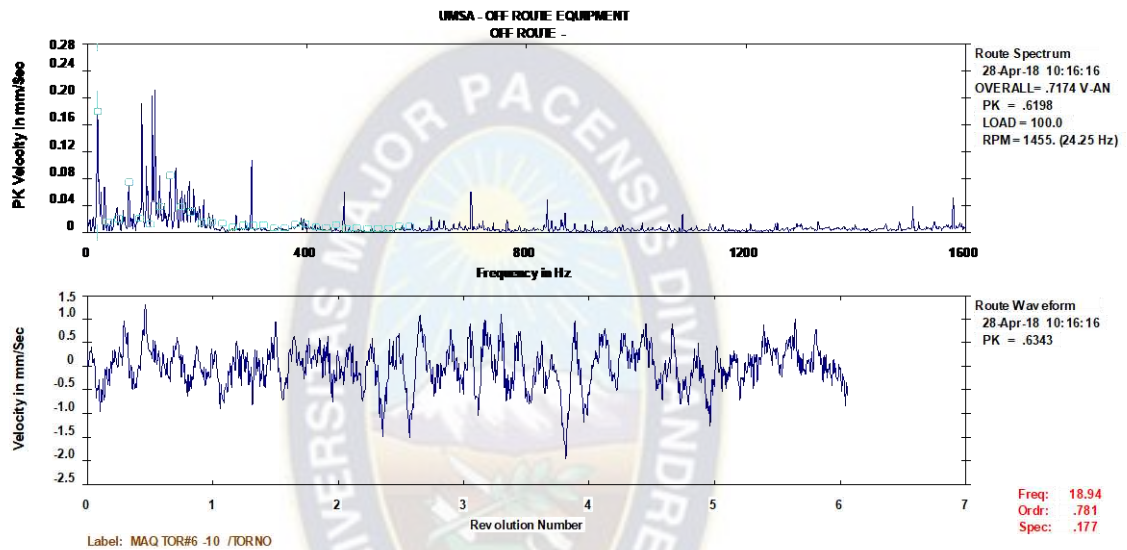


DIAGNOSTICO

- En el espectro se puede observar bastante actividad en medias frecuencias, con la manifestación de una frecuencia de engrane GMF del par de engranes de su máxima velocidad, denotando que el par de engranes no están bien alineados entre ellos o que sus ejes no estén sincronizando bien en su envolvente.
- Por la forma de onda se puede concluir que existe impactos en cada giro del engrane con mayor número de dientes, mostrando que puede haber el debilitamiento y daño de uno o varios dientes de los engranajes.

TORNO N° 6

En esta unidad, se toma los datos en varios puntos de la transmisión y el motor, en los tres planos de medición. Es importante recalcar que se trata de verificar todo el estado de salud que se pueda evaluar del equipo. De todas las tomas solamente se muestra los puntos que más información puedan brindar dichas tomas.



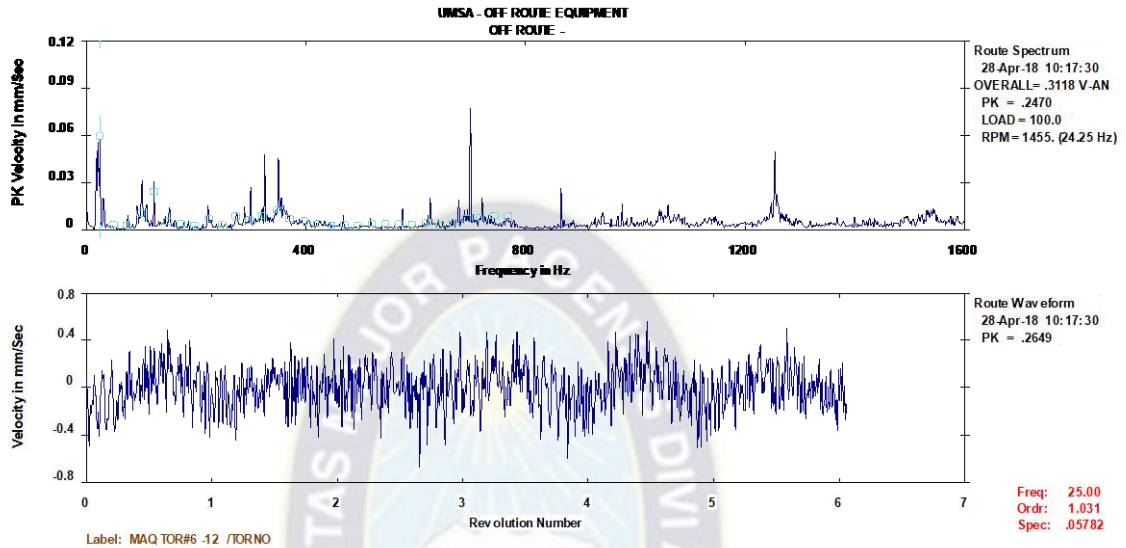
DIAGNOSTICO

- En el espectro se puede observar que se manifiesta la 1X como primera armónica, y varias armónicas de la GMF frecuencia de engrane del primer tren de engranajes que muestra la interacción de varios engranajes que, si bien tienen algo de lubricación, no es suficiente para mejorar la fricción que se tiene en su funcionamiento.
- La forma de onda nos puede mostrar que existe un patrón errático que está relacionada directamente con pequeños desalineamientos entre alguno de los componentes

TORNO N° 8

- En esta unidad se realiza la toma de datos en puntos de la transmisión más que todo, porque se tiene el motor fuera de la carcasa, pudiendo evaluar mejor

todo el sistema de transmisión. De la misma forma se toma datos en la carcasa cerca a los rodamientos o cojinetes de apoyo.

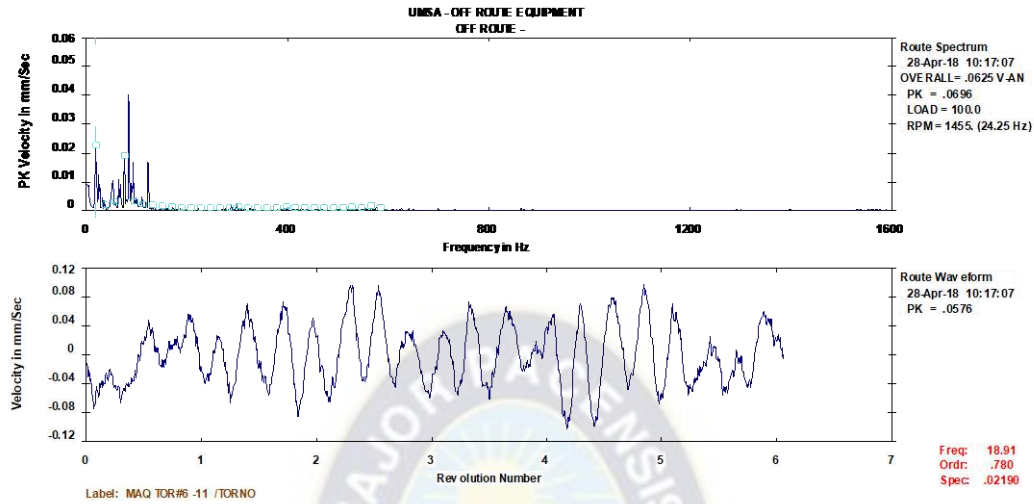


DIAGNOSTICO

- En El espectro se puede ver la manifestación de la primera armónica 1X, con una armónica en media frecuencia.
- Se puede observar que están presentes las armónicas y la fundamental de la frecuencia de engranes principal, denotando que existe desalineamiento entre engranes

TORNO N° 10

- En esta unidad se realiza una toma del espectro y la forma de onda, que por su conformación solamente se hace en las cercanías de la transmisión y apoyos de los ejes conducido y conductor de potencia

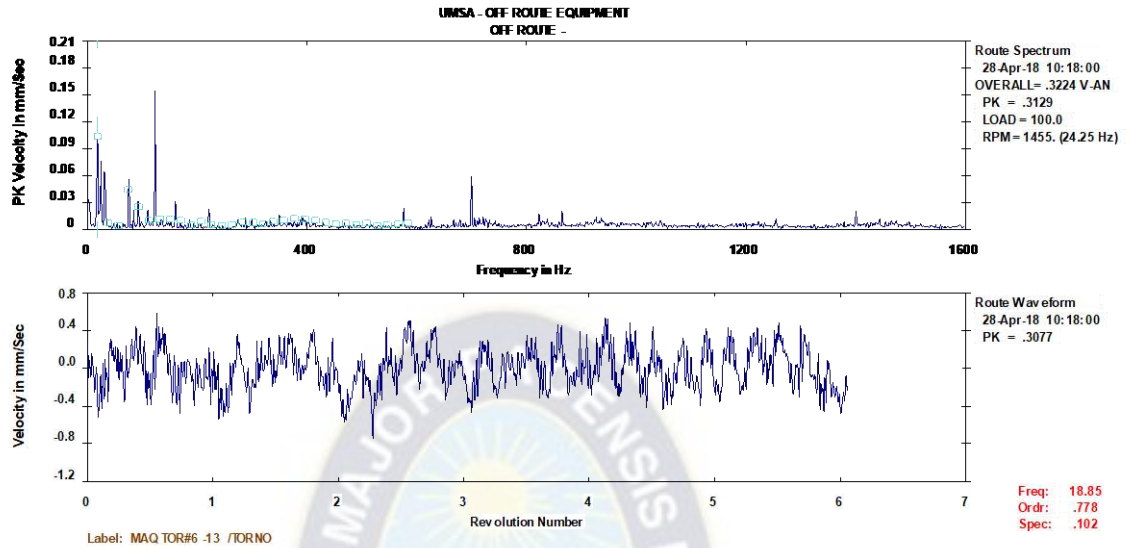


DIAGNOSTICO

- Se observa que existe actividad en bajas y media frecuencias, de manera que se analiza picos existentes como ser armónicas de 1X denotando soltura en alguno de sus componentes de la transmisión o de su estructura. Es necesario verificar con una toma de datos en profundidad los signos evidentes de soltura que existe en la unidad mencionada.
- Se observa la manifestación de la frecuencia de engrane, que tiene la influencia de la soltura encontrada como unidad base.

TORNO 11

En esta unidad se realiza la toma de datos bajo los estándares de calidad según las normas internacionales, se utilizan 3 planos de medición.

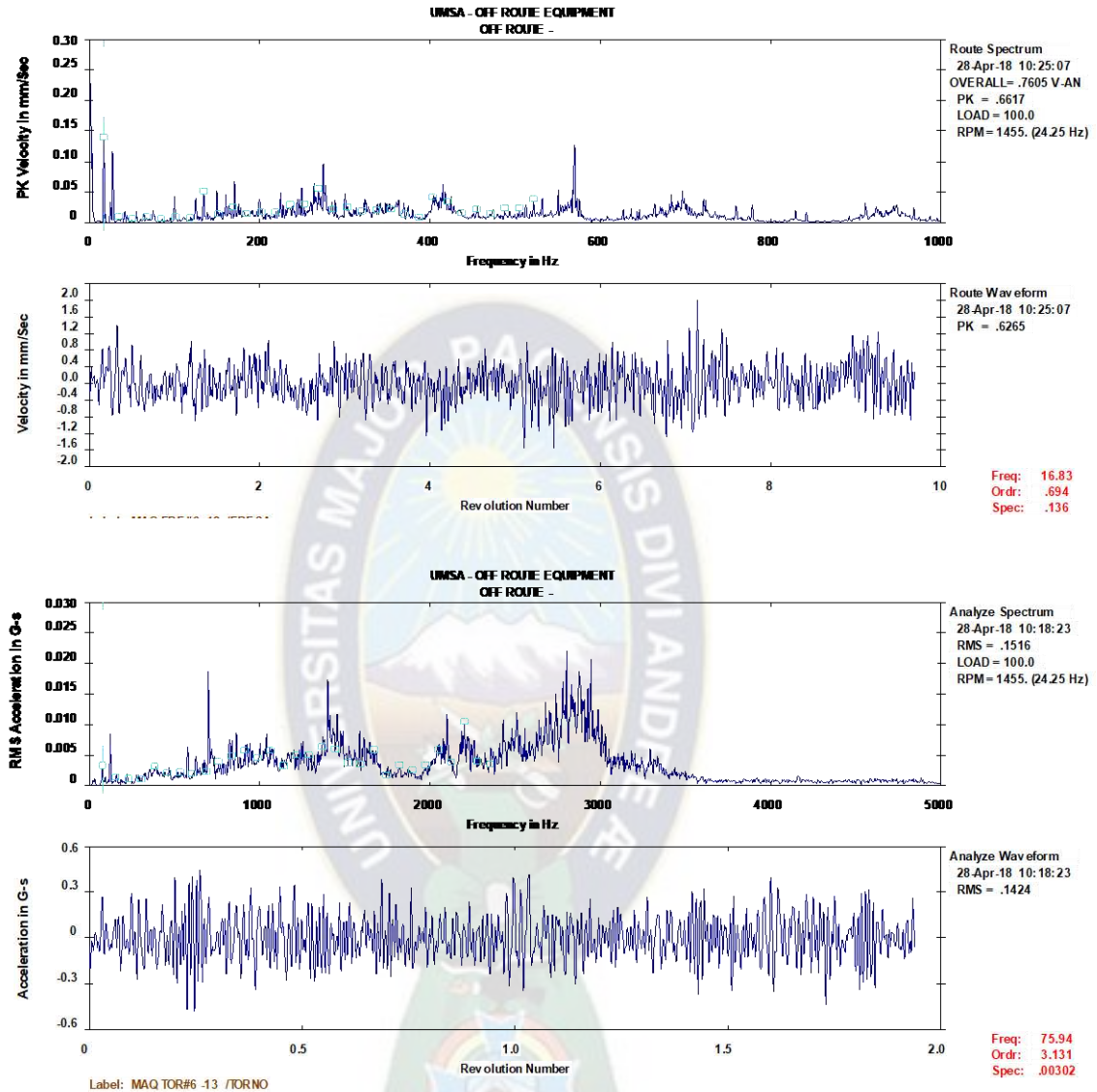


DIAGNOSTICO

- Por el espectro mostrado, se puede evidenciar que se manifiesta como pico dominante la frecuencia de engrane del par de engranajes que está transmitiendo el movimiento desde el motor, no se observa ninguna armónica de dicha frecuencia.
- Se observa normalidad en su funcionamiento en esta unidad

TORNO N° 12

- En esta unidad se realiza la toma de datos, se coloca la relación de transmisión a máxima velocidad, tratando de evidenciar el máximo esfuerzo de la unidad. Por las características observadas en el arranque de la unidad, se decide tomar datos en unidades de aceleración, ya que el ruido era evidente a inicio de la operación.

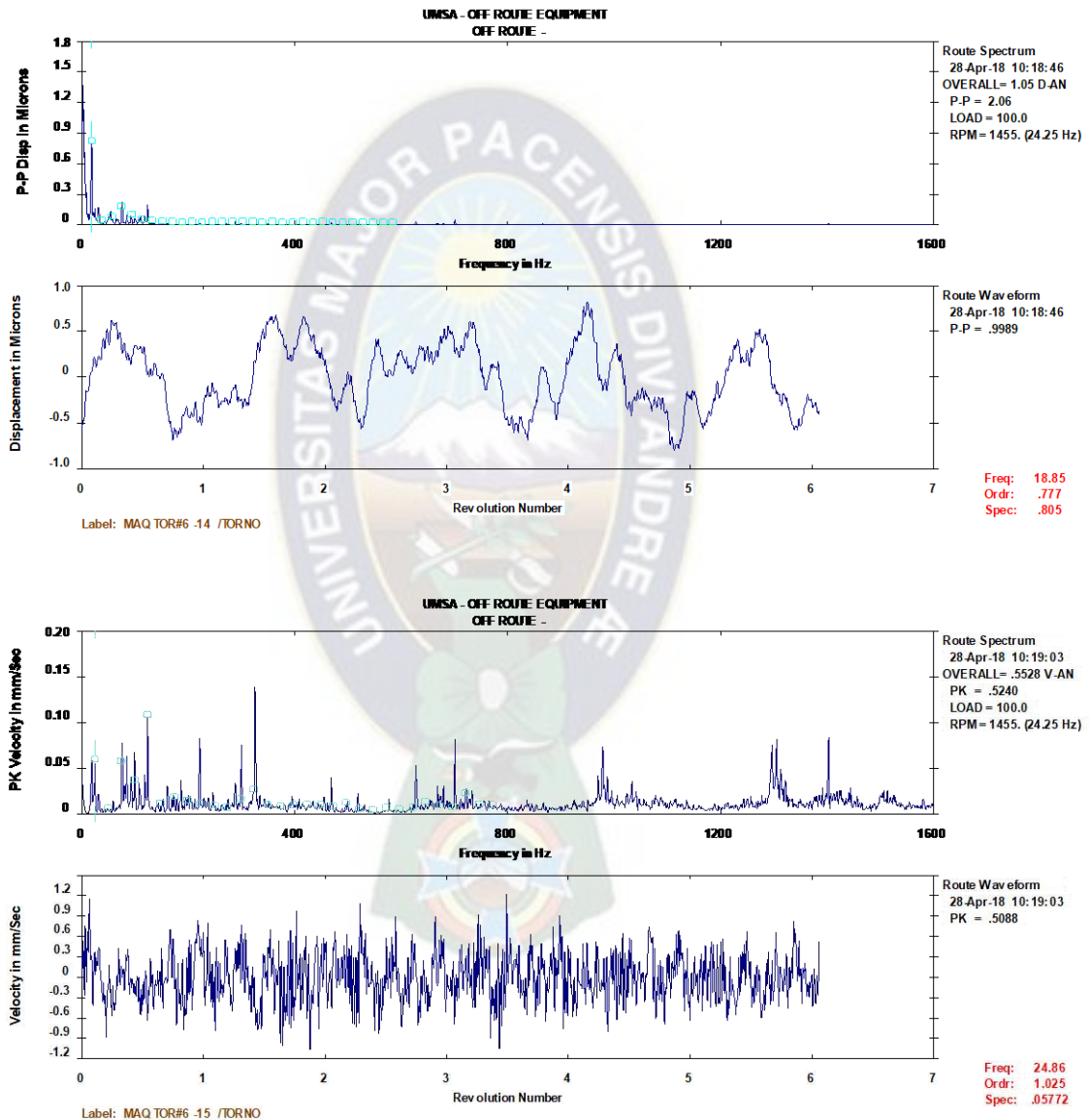


DIAGNOSTICO

- En el espectro se puede evidenciar la manifestación de la frecuencia de engrane con algunos armónicos GMF, que denotan un engrane casi forzado.
- Por el levantamiento del espectro en media y altas frecuencias, se evidencia la excesiva fricción que tienen en la transmisión, denotando claramente la falta de lubricación de la unidad, hecho que está afectando a los engranajes de manera significativa.

TORNO N° 13

- Esta unidad es monitoreada en unidades de velocidad y desplazamiento, por tener la particularidad de funcionar a bajas revoluciones, esta decisión se adopta por tener mejor respuesta de los resultados en bajas frecuencias.



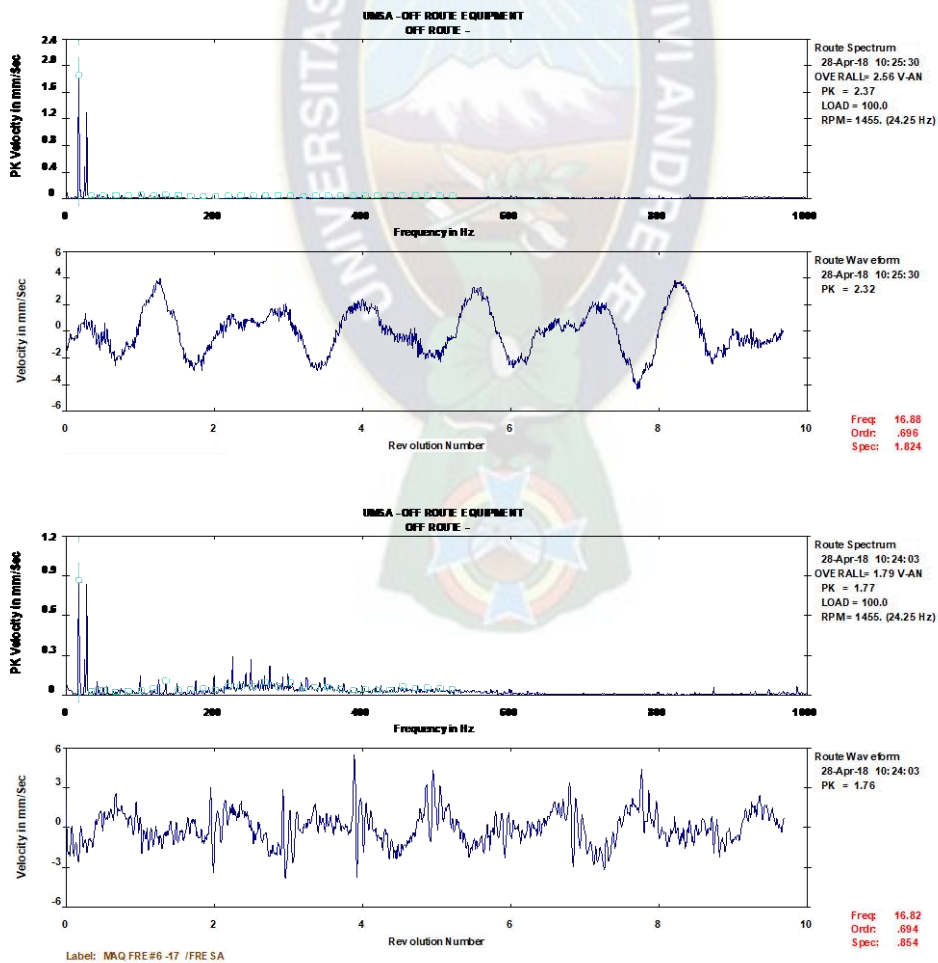
DIAGNOSTICO

- Por los espectros encontrados, se puede observar que los valores globales son bajos, y que se manifiestan picos asincrónicos y muy pocos sincrónicos.

- La fricción y algunos impactos muestran que existe exceso o defecto de lubricación. Es necesario verificar el sistema de lubricación en su limpieza y cantidad.

TORNO N° 15

- En esta unidad se realiza una toma de datos a velocidad media, por sus características de funcionamiento que tiene el torno en su conformación. Es importante la ubicación de los sensores que se tiene que ser montados, y la elección de los mismos.
- En este caso se utiliza sensores de velocidad por haber notado baja respuesta en frecuencias altas y medias.

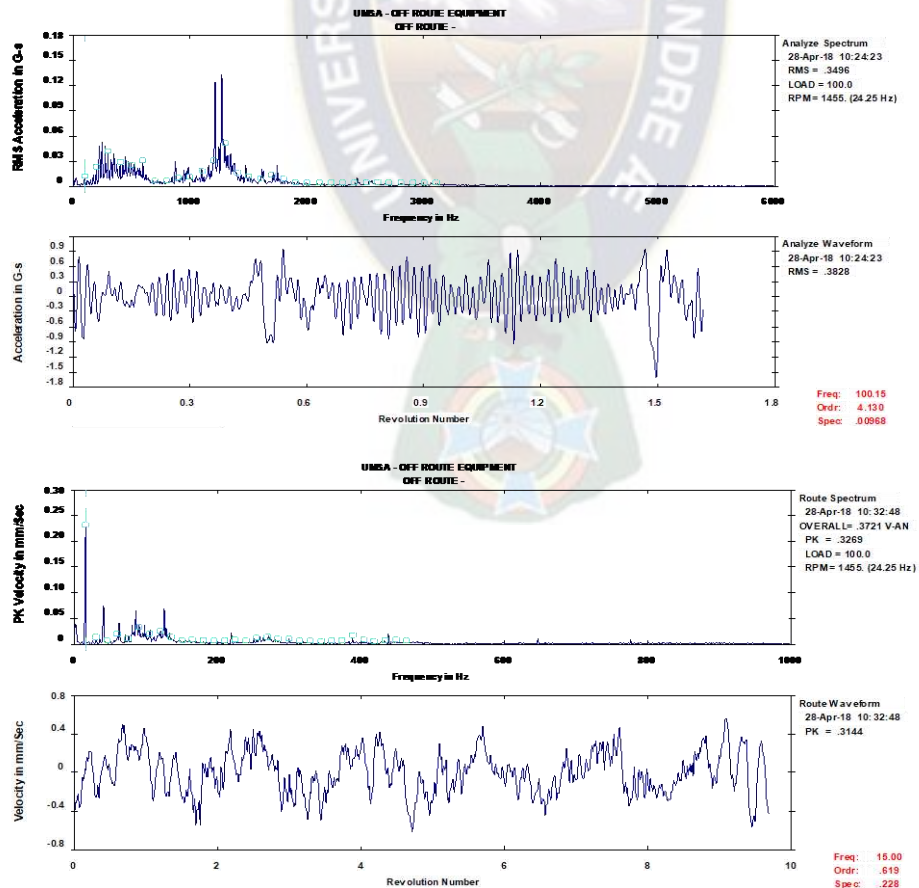


DIAGNOSTICO

- Los picos dominantes que se encuentra en el espectro son la primera 1X y segunda armónica 2X, con algunos picos en frecuencias medias de poca intensidad. Que nos muestra desalineamiento entre ejes, de los componentes de la transmisión fundamentalmente.
- Por la forma de onda analizada, se puede concluir que cada 2 revoluciones de los ejes los impactos son mayores en su funcionamiento. Esto nos muestra que los ejes están trabajando de manera forzada en su paralelismo.

TORNO N° 16

En esta unidad se realiza la toma de datos en amplitud de velocidad y aceleración, dado que se necesita obtener mejor respuesta en media y alta frecuencia por los componentes importantes del tren de engranajes

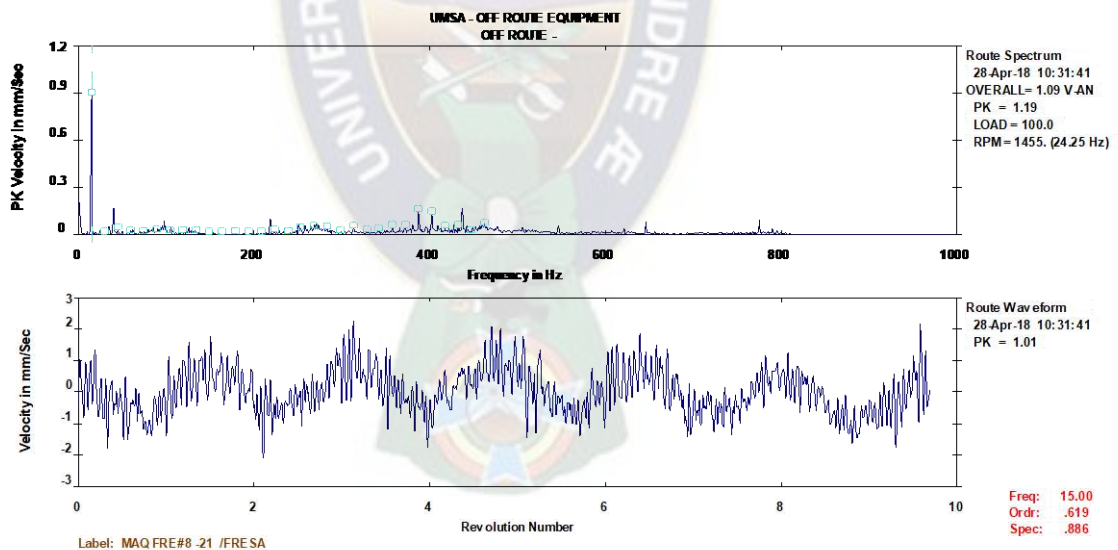


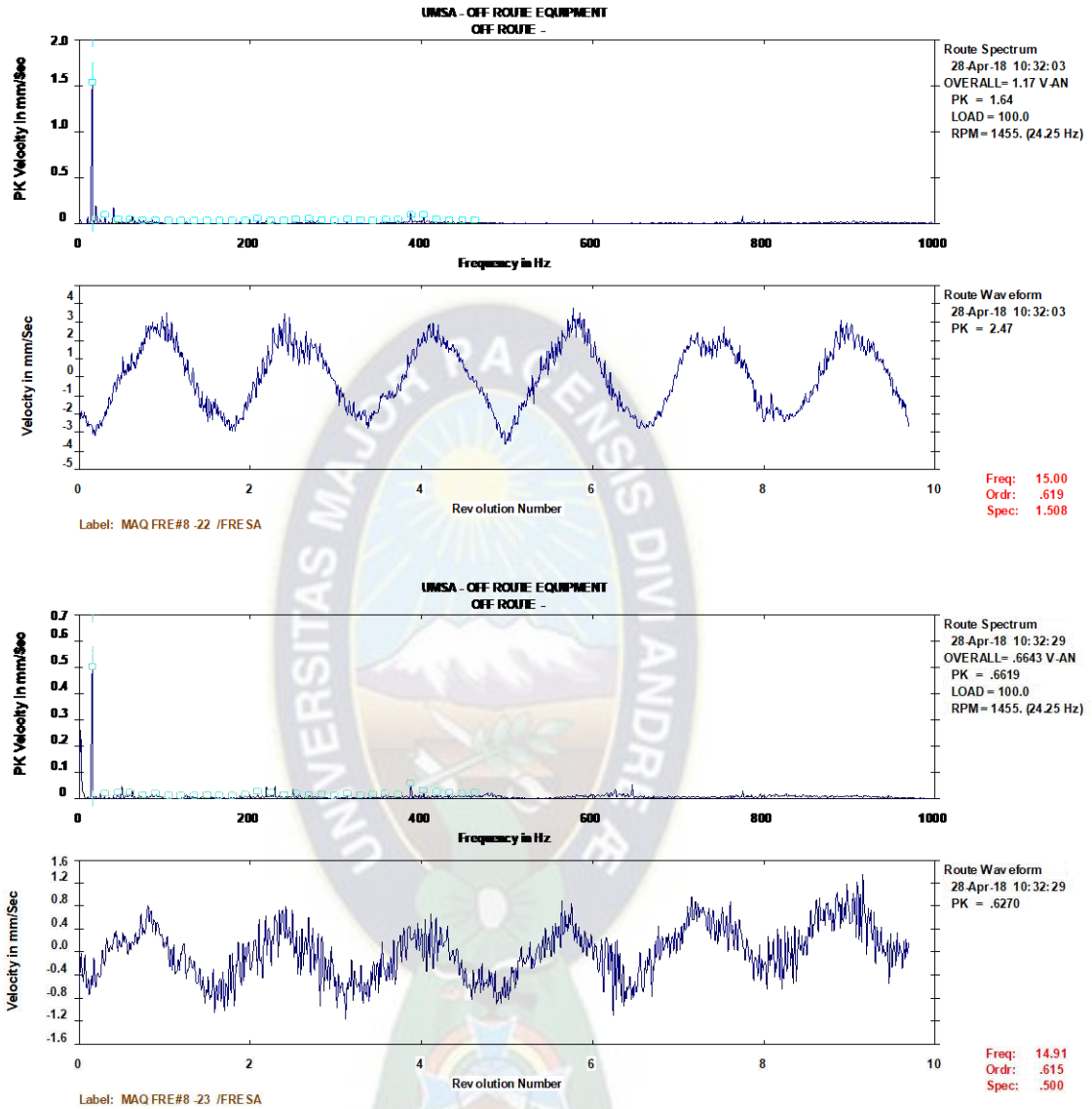
DIAGNÓSTICO

- Se puede observar en los espectros la manifestación de la primera armónica 1X, además de otros pequeños picos poco representativos en medias frecuencias.
- En la forma de onda se puede observar que es errática en su conformación, denotando poca amplitud y eventos normales del funcionamiento.

TORNO N° 17

En este equipo se realiza la toma de vibraciones en los 3 planos de medición en puntos de apoyo, motor y tren de engranes. Es importante recalcar que se realiza la medición en algunos equipos en amplitudes de desplazamiento, velocidad y aceleración; todo para diferenciar los eventos en frecuencias distintas de acuerdo con el grado y nivel de análisis que se quiere profundizar en cada unidad analizada.





DIAGNOSTICO

- Se observa en todos los espectros la manifestación de la primera armónica 1X como pico dominante, denotando desbalance en alguno de los elementos dinámicos de rotación.
- La forma de onda sinusoidal confirma el desbalance en el sistema rotacional, mostrando que el plato principal del torno presenta desbalance residual mayor al permitido por norma.

ANALISIS

Como se puede observar en los espectros tenemos picos elevados en 1XT de 4.34mm/s, un pico elevado en 1XR de 7.86mm/s y la existencia de un pico en 1XA de 6.18 mm/s, los mismos que no son admisible y nos indican un nivel de alarma critico según la norma ISO 10816.

DIAGNOSTICO

Los picos elevaos en 1X en la dirección radial y en 1X en la dirección axial, nos muestra un problema de desalineación de flexibilidad transversal.

3.9.7 LUBRICACIÓN

Es importante considerar dos elementos de falla potencial. Una es la carencia de lubricación mientras que la otra es el exceso de lubricación.

Cargas normales de rodamientos causan deformaciones elásticas de los elementos en el área de contacto, que dan una suave distribución elíptica. Pero las superficies de los rodamientos no son perfectamente suaves. Por este motivo la distribución de tensión actual en el área de contacto será afectado por rugosidad arbitraria a la superficie.

Con la presencia de una película lubricante en la superficie de rodamiento, hay un efecto de amortiguamiento en la distribución de tensión y la energía acústica será baja.

Si se reduce la lubricación a un punto donde la distribución de tensión no está presente, los puntos rugosos normales harán contacto con la superficie e incrementarán la energía acústica.

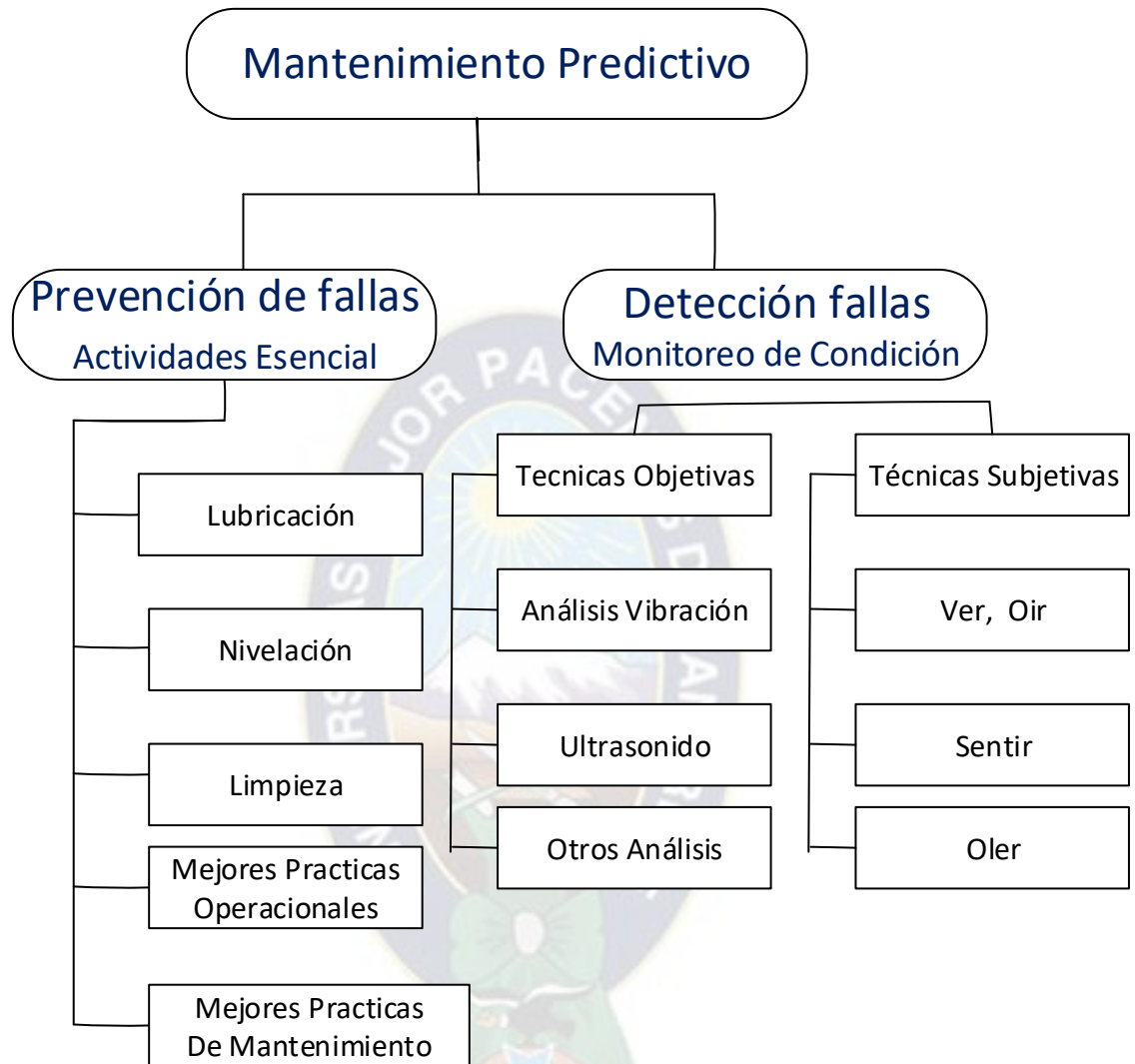
Estas deformaciones microscópicas normales comenzaran a producir desgaste y las posibilidades de pequeñas perturbaciones pueden desarrollarse lo cual contribuye a la condición de pre-falla.

Por lo tanto, además del desgaste normal, la fatiga o vida útil de un rodamiento es fuertemente influenciado por el espesor relativo de la película proporcionada por un lubricante apropiado.

3.10 ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

A partir de las informaciones obtenidas anteriormente se establecerá un plan de Mantenimiento Predictivo para las máquinas Fresadoras y Torno horizontal. Se decidió realizar las tareas predictivas para las maquinarias de la institución Don Bosco de acuerdo a la evolución de las anomalías o fallas que se presenten durante el proceso de funcionamiento.

Siendo necesario la incorporación de todos los equipos susceptibles a este tipo de mantenimiento se sugieren procedimientos necesarios con el fin de garantizar el éxito en la implementación del programa. Para dar cumplimiento a esta etapa se realizó un recorrido por todas las áreas de la empresa observando detalladamente los equipos ubicados en ellas, resaltando sus principales características. También se conversó con operadores y mantenedores acerca de las fallas más comunes presentes y se les pidió su opinión acerca de la factibilidad de incorporar los equipos al programa de mantenimiento predictivo. Ver anexo 2 plan de mantenimiento predictivo



4 ANÁLISIS DE COSTOS

Normalmente, los recursos destinados al mantenimiento se contabilizan como gastos y es evidente que generar más gastos significara una reducción en el indicador financiero, lo cual dificultaría la obtención de presupuesto para poder implementar Mantenimiento Predictivo.

Es por eso que para conseguir involucrar al departamento financiero se deberán presentar los beneficios, que demuestre estar alineada con los objetivos del mismo.

Al inicio, se deberá identificar el dinero que se está gastando en operar y mantener los equipos. Este análisis puede resaltar tan complejo como se quiera. Para justificar la inversión en el desarrollo de la maestría se trabajará con los costos más evidentes como lo son los costos de Mano de Obra, Costos de mediciones, Alquiler de los equipos por sesión, materiales necesarios para el proceso del desarrollo del mantenimiento predictivo:

- ✓ Costos derivados a de la disponibilidad.
- ✓ Costos de sobre mantenimiento.
- ✓ Costos por perdida de calidad.

4.1.1 COSTO SEMESTRE APROXIMADO EN INTERVENCIONES (CSAI)

El Costo semestre Aproximado en Intervenciones estará dado por:

$$\text{CSAI} = \text{N}^\circ \text{ACTIVOS} \times \text{CMedI} \times \text{PromedI/Semestre}$$

Donde:

N° Activos = Numero de Maquinas Criticas.

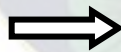
C.Med. I = Costo Medio de Intervenciones.

Prom. I / Semestre = Promedio de Intervenciones en cada Activo por semestre.

En función de haber estudiado las estadísticas de fallas de los últimos semestres, se establece que el promedio de intervenciones en cada activo por semestre es igual a 1, mientras que el Costo Medio de Intervenciones es equivalente a 200 bolivianos por equipo.

Dentro de este Costo solo se incluyen los Gastos en reparación (Mano de Obra y Repuestos), es decir, que no son consideradas las perdidas productivas generadas. Por otro lado, el número de activos críticos trabajados en el desarrollo de la maestría es igual a 2.

Por ende:



$$\text{CSAI} = \text{Bs } 400$$

$$\text{CSAI} = 2 \times \text{Bs. } 200 \times 1$$

Una vez calculado el valor aproximado de las intervenciones realizadas en el taller de ITDB. Carrera Mecánica Industrial de la máquina fresadora y el torno horizontal por semestre. El siguiente paso será calcular cuánto va a ser este Costo Cuando este implementado el mantenimiento predictivo.

Normalmente, las Intervenciones se programan cada fin de semestre en (vacaciones), dejando las maquinas en desuso.

Es importante aclarar que las máquinas son antiguas y nuevas donde no existe ningún registro de mantenimiento predictivo. El problema es que la institución no cuenta con

un sistema que pueda predecir la duración máxima de cada componente debido a varios factores. Esto ocasiona serios perjuicios en el proceso de enseñanza y aprendizaje hacia los estudiantes, además el acabado es de mala por la depreciación de los equipos.

Aplicando Mantenimiento Predictivo, la institución tendrá la capacidad de extender la Vida Útil de cada componente hasta el valor de alarma.

4.1.1 COSTO SEMESTRAL DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (CS.PDM)

El Costo Semestral de implementar Mantenimiento Predictivo, según Javier Arias Martos⁶, estará dado por:

$$CS.PDM = CMed + CDiag + CEqMed$$

Donde:

CMed = Costo de Mediciones

CDiag = Costo del Diagnostico

CEqMed = Costo del Equipo de Medición

4.1.1 COSTO DE MEDICIONES (CMED)

Las Mediciones Serán llevadas a cabo por Mano de Obra externa especializada y su Costo será Compuesto por:

$$CMed = (TMed/Maq.) * (CMO / Hrs) * (Ins / Sem) * N^{\circ} Act$$

⁶file:///C:/Users/HP/AppData/Local/Temp/justificacion-de-la-inversion-en-mto-predictivo---pdf--426-kb-1.pdf

Donde:

$T_{Med} / Maq =$ Tiempo de medición por Maquina (Hrs.)

$CMO / Hrs =$ Costo de mano de Obra de toma de datos por hora (Bs / Hrs)

$Ins / Sem =$ Inspecciones por semestre

$N^{\circ} Act =$ Numero de Activos Críticos

4.1.2 TIEMPO DE MEDICIÓN POR MAQUINA (T_{MED} / MAQ)

El mismo se formará a partir de la suma de los tiempos de medición de cada componente que presenta cada uno de las maquinas herramientas del taller.

$$(T_{Med}/Maq.) = (T_{MedV} / Maq) + (T_{Med U} / Maq) + (T_{Niv In}/Maq)$$

Donde:

$(T_{MedV} / Maq) =$ Tiempo de Medición de Vibraciones por maquina

$(T_{Med U} / Maq) =$ Tiempo de Medición de Ultrasonido por máquina

$(T_{Niv In} / Maq) =$ Tiempo de nivelación con inclino metro por máquina

Siendo los tiempos de Medición Mensual aquellos definidos en los planes de mantenimiento:

Tiempo de Medición Mensual Fresadora	Minutos	Horas
Tiempo de Medición de vibraciones de Motor de la fresadora (TMedVM)	30	0.50
Tiempo de medición de vibraciones de husillo de la fresadora (TMedVH)	30	0,50
Tiempo de medición de ultrasonido el husillo de la fresadora (TMedUH)	30	0.50
Tiempo nivelación de mesa de trabajo (Guías) de la fresadora (TMedUMt)	30	0.50
Tiempo de medición de inclino metro eje X de la fresadora (TmedInX)	30	0.50
Tiempo nivelación de inclino metro eje Z de la fresadora (TmedInY)	25	0.41
Tiempo nivelación de inclino metro eje Y de la fresadora (TmedInZ)	25	0.41
Tiempo de Medición Mensual Tornero		
Tiempo de Medición de vibraciones de Motor del torno (TMedVM)	30	0.50
Tiempo de medición de vibraciones de husillo del torno(TMedVH)	15	0.25
Tiempo de medición de vibraciones la bancada del torno(TMedVB)	15	0.25
Tiempo medición de ultrasonido la bancada del torno (TMedUB)	15	0,25
Tiempo de medición de ultrasonido el husillo del torno(TMedUH)	20	0.33
Tiempo medición de inclino metro eje X del torno (TMedInEX)	30	0.5
Tiempo medición de inclino metro eje Z del torno (TMedInEZ)	40	0.16

Finalmente, el tiempo de medición de vibraciones por maquina Fresadora será igual a:

$$TMedV/Maq = TMedM/Maq + TMedH/Maq$$

$$TMedV/Maq = 0.5 + 0.5 \Rightarrow TMedV/Maq = 1hrs/Maq$$

Mientras que el tiempo de medición mensual de Ultrasonido por maquina estará dado por:

$$TMedU/Maq = TMedUH/Maq + TMedUMt/Maq$$

$$TMedU/Maq = 0.5 + 0.5 \Rightarrow 1Hhs/Maq$$

Tiempo de Medición con el inclino metro por maquina estará dado por:

$$T_{MedIN}/Maq = T_{MedEX}/Maq + T_{MedEY}/Maq + T_{MedEZ}/Maq$$

$$T_{MedIN}/Maq = 0.5 + 0.41 + 0.41 \quad T_{MedIN}/Maq = 1.32 \text{ Hrs/ Maq}$$

Por lo tanto, el tiempo de medición por máquina FRESADORA al mes será equivalente a:

$$T_{Med}/Maq = 1 + 1 + 1.32 \quad \Rightarrow \quad T_{Med}/Maq = 3.82 \text{ Hrs/ Maq}$$

Por otro lado, se tiene la medición por máquina TORNO será igual a:

$$T_{MedV}/Maq = T_{MedM}/Maq + T_{MedH}/Maq + T_{MedB}/Maq$$

Mientras que el tiempo de medición mensual de ULTRASONIDO por máquina estará dado por:

$$T_{MedU}/Maq = T_{MedH}/Maq + T_{MedB}/Maq$$

$$T_{MedU}/Maq = 0.25 + 0.33 \quad \Rightarrow \quad T_{MedU}/Maq = 0.58 \text{ Hhs/Maq}$$

Tiempo de Medición con el inclino metro por maquina estará dado por:

$$T_{MedIn}/Maq = T_{MedEX}/Maq + T_{MedEZ}/Maq$$

$$T_{MedIn}/Maq = 0.25 + 0.66 \quad \Rightarrow \quad T_{MedIn}/Maq = 0.916 \text{ Hrs/ Maq}$$

Por lo tanto, el tiempo de medición por maquina TORNO al mes será equivalente a la suma:

$$T_{Med}/Maq = T_{MedV}/Maq + T_{MedU}/Maq + T_{MedIn}/Maq$$

4.1.3 COSTO DE MANO DE OBRA DE TOMA DE DATOS POR HORA (CMO/HRS)

Habiendo estudiado los valores de la hora hombre tanto en el mercado local, como en mercado internacional, el costo de Mano de Obra de toma de datos será igual a:

$$\text{CMO/HRS} = \text{Bs}1045$$

4.1.4 INSPECCIONES POR SEMESTRE (INS/SEM)

El número de inspecciones por trimestre según la planificación de mantenimiento es igual a 1, por ende, la cantidad de inspecciones al semestre será equivalente a:

$$\text{Ins/Sem} = 2$$

Finalmente, el Costo de Medición por semestre de los equipos será igual a:

MAQUINA FRESADORA HORIZONTAL

$$\text{CMedF/SEM} = \text{TMed/Maq} * \text{CMO/HRS} * \text{Ins/SEM} * \text{N}^{\circ}\text{Act}$$

Es decir:

$$\text{CMedF/Maq} = 3.82 \text{ Hr/Maq} * 1045\text{Bs/Hr} * 2/\text{SEM} * 2\text{Maq}$$

$$\text{CMedF/SEM} = 15952.32 \text{ Bs/ SEM}$$

MAQUINA TORNO HORIZONTAL

$$\text{CMedT/SM} = \text{TMed/Maq} * \text{CMO/HRS} * \text{Ins/SM} * \text{N}^{\circ}\text{Act}$$

$$\text{CMedT/SEM} = 2.496 \text{ Hrs/ Maq} * \text{Bs } 1045/\text{Hrs} * 2/\text{SM} * 2$$

$$\text{CMedT/Sem} = 2608.32 \text{ Bs/ SM}$$

4.1.5 COSTO TOTAL DE MEDICIONES (CTMED/SEM)

Por lo tanto los costos de mediciones en las 4 máquinas dos tornos y dos fresadoras serán:

$$\text{CTMed/Sem} = \text{CMedF} + \text{CMedT}$$

$$\text{CTMed/Sem} = 2292.00 + 1497.60$$

$$\text{CTMed/Sem} = 3789.60 \text{Bs/Sem}$$

4.1.6 COSTO DEL DIAGNOSTICO (CDIAG)

Por otro lado, el Costo del Diagnóstico estará conformado por:

$$\text{CDiag} = \text{CMed/Act} * \text{Ins/Sem} * \text{N}^\circ \text{Act}$$

Donde:

CMed/Act = Costo Medio de Diagnóstico por Activo

Ins/Sem = Cantidad de Inspecciones por Semestre

N°Act = N° de Activos Críticos

4.1.7 COSTO MEDIO DE DIAGNÓSTICO POR ACTIVO (CMED/ACT)

Este Costo, según los valores que rigen en la actualidad en el Mercado nacional e internacional, será igual a:

$$\text{CMO/HRS} = \text{Bs. } 1045$$

Finalmente, siendo el número de inspecciones por semestre igual a 2 y el número de máquinas tornos y fresadoras inspeccionadas igual a 4, se tendrá que el costo del diagnóstico por semestre será equivalente a:

$$\text{CDiag} = 1045/\text{Maq} * 2 \text{ Inspecciones/Sem} * 4 \text{ Maq}$$



$$\text{CDiag/Sem} = 8352 \text{ Bs /Sem}$$

Por tanto, el Costo semestral de mantenimiento predictivo será igual a:

$$\text{CSEMAPDM/Sem} = \text{Costo semestral aproximado de mantenimiento}$$

$$\text{CSEMAPDM/Sem} = \text{CTMed} + \text{CDiag}$$



$$\text{CSEMAPDM/Sem} = 26375 + 1045$$



$$\text{CSEMAPDM/Sem} = 27420.60\text{Bs}$$

Suponiendo una extensión Media de la Vida útil del componente al implementar Mantenimiento Predictivo de 2 veces la calculada con el mantenimiento preventivo, lo cual significa que la cantidad de intervenciones en los mismos disminuirá a la

mitad, el Costo Semestral Aproximado de las intervenciones (CSEMAI.PDM) será el siguiente:

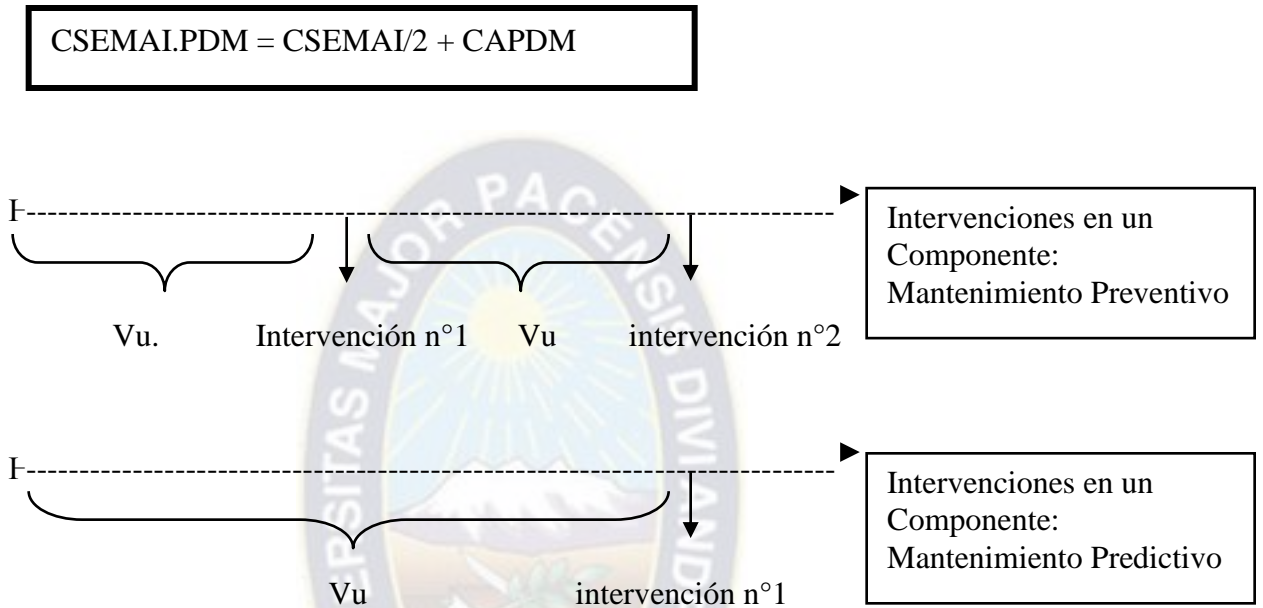


Figura 45. Esquema de intervenciones con Mantenimiento Preventivo y Predictivo

$$\text{CSEMAI.PDM} = \text{CSEMAI}/2 + \text{CAPDM}$$

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

5.1 CONCLUSIONES

El inventario actualizado de las maquinarias constituye en la base fundamental para la implementación de un plan fundamental, ya que por este medio de este documento se tiene un acceso rápido a las características propias de cada máquina como, por ejemplo: modelo, código. Etc.

Con la implementación de las técnicas de mantenimiento predictivas se logró identificar las fallas y síntomas que provoca la no aplicación adecuada de esta técnica.

Con el presente trabajo de tesis, se ha podido establecer que la mejor manera de establecer un plan adecuado de mantenimiento es primero instaurando la condición de cada uno de los equipos. Pudiendo establecer el grado de deterioro, fallas incipientes y fallas recurrentes que se puedan dar en cada unidad que es la herramienta fundamental de la unidad educativa de formación profesional.

Es importante recalcar que el uso de tecnologías de punta, han sido fundamentales en el enfoque de esta tesis para poder encontrar un diagnóstico cabal y acertado, de esta forma se ha podido establecer un plan de mantenimiento correctivo en un equipo que al ser una prueba piloto, va a ser la base de plan a mediano plazo en la solución de sus problemas en principio, el cual a mediano plazo se convierta en el mejor plan de mantenimiento preventivo para la conservación de los activos, para que rindan mejores frutos en favor de la educación.

En base a todos los análisis realizados se puede concluir como puntos más importantes de la etapa de diagnóstico, los siguientes criterios que se puede mencionar:

- El análisis de vibraciones se constituye en la técnica que brinda más información predictiva, que puede ser utilizada para mostrar la condición real de una máquina con varios elementos dinámicos que conforman la unidad. En

especial la parte motriz de la máquina y sus puntos de apoyo: cojinetes, rodamientos y engranajes, que se constituyen en los elementos que brindan más información para un mejor análisis.

- Se ha podido establecer que el mayor problema de todas las unidades es el relacionado con la lubricación, en muchos casos la carencia y también algunas unidades se encontró lubricación en exceso. Siendo este problema el inicio de otros que van relacionados directamente con el desgaste de los elementos que están en contacto angular o ligados mediante fricción.
- Otro problema detectado en el análisis de vibraciones es el desalineamiento de ejes, en especial el paralelo en mayor grado que el angular. Este fenómeno se da principalmente por técnicas inadecuadas de montaje.
- Un problema que se ha podido constatar mediante el análisis de vibraciones y mediante la medición realizada en campo, es la deformación que sufre la base estructural por un montaje inadecuado de las unidades que son los tornos y fresas. La mala nivelación hace que los ejes no estén correctamente paralelos y tengan presiones mayores en uno de los cojinetes, siendo susceptible a un desalineamiento de ejes o de engranajes.
- Se ha podido constatar que una prueba piloto en una de las unidades constituye una prueba clara que las técnicas predictivas utilizadas son útiles en su integridad, ya que se cumple todas las etapas de un ciclo de una buena gestión de mantenimiento como es: la toma de datos, análisis, plan de mejora, acciones correctivas y verificación de las mejoras mediante nuevas tomas, que comparen los datos antes y después de la intervención. Ciclo que se cumple en esta tesis, demostrando mediante la fase experimental que se pudo mejorar los defectos de montaje que se encontraron en la unidad N°2 del taller de tecnología mecánica del politécnico Don Bosco.
- Finalmente se puede concluir que al ser esta tesis una prueba piloto de mejora, y demostrando que puede ser rentable la inversión para obtener un retorno en corto tiempo, se constituye en la base de un proyecto que se encargue de

realizar la optimización de todos los laboratorios de la unidad educativa a mediano plazo. El financiamiento de dicho proyecto tendrá que ser planteado en consejo académico de la carrera de Metalmeccánica en su módulo de máquinas herramientas.

5.2 RECOMENDACIÓN

- Se recomienda a tecnológico Don Bosco implementar la nueva técnica basado en mantenimiento predictivo a todas las máquinas herramientas
- Se recomienda a la institución en cabezado por salesianos y el rector planificar el proceso de mantenimiento correctico y preventivo en totalidad de estas técnicas para su mejor rendimiento de las mismas.

6 BIBLIOGRAFÍA

- E. Hernández Cruz, Navarrete Pérez - Sistema de cálculos de indicadores para el mantenimiento – Revista Mantener n°6, Septiembre 2001
- <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8852/1/TESIS%20COMPLETA%20VERDEZOTO%20ALVAREZ%20NATALI.pdf>
- <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8852/1/TESIS%20COMPLETA%20VERDEZOTO%20ALVAREZ%20NATALI.pdf>
- Daniel R. Campuzano B – Sistema de Gestión de Mantenimiento, SGM – Versión 1.0/2012
- Ramiro W. Peralta Uría – Principios y Fundamentos de la Ingeniería de mantenimiento- 2da edición 2011
- “CALIDAD” - Cerezo Andrés; Berlinches: Ed. Paraninfo.

- “GESTIÓN DE LA CALIDAD - ¿Qué es el control total de calidad?”. Jaime, Paul; Editorial Norma 2002: paginas 209.
- METODOLOGIA. Guía para elaborar diseños de investigación en Cs. Económicas, contables y administración” -MENDEZ, Carlos “, segunda edición.
- “GUÍA PARA ELABORAR EL PROYECTO DE GRADO” -MSC. ING. Lino Guarachi Olivera UMSA.
- LAS “CINCO S” UNA FILOSOFIA DE TRABAJO - autor. Hugo Máximo Cura
- “MONTAJE INDUSTRIAL” - Ing. Walter López Méndez
- “CIRCULO DE CALIDAD”- Francisco Javier Palom.
- “MANUAL DE GESTIÓN DE CALIDAD TOTAL A LA MEDIDA” Ing. Alejandro Rozotto.
- “PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO” autor Ramiro W. Peralta Uría
- “CONTABILIDAD BASICA” – Gonzalo J. Terán Gandarillas – Primera Edición- 1996.
- “CONTABILIDAD DE COSTOS” – autor Juan Orellanos – Primera parte
- Y PRODUCCIÓN INDUSTRIAL”- Acheson J. Duncan Tomo II
- SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD - Norma Boliviana IBNORCA.

5.3 WEB GRAFÍA

- [file:///C:/Users/hp/Downloads/tesis analisis vibaciones compresores de tornillo-141129122246-conversion-gate02%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/tesis analisis vibaciones compresores de tornillo-141129122246-conversion-gate02%20(4).pdf)
- <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1081/1/Tesis.PROGRAMA%20DE%20MANTENIMIENTO%20BASADO%20EN%20CONDICI%C3%93N.pdf>

6.1 ANEXOS

