



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

**ANÁLISIS DE VIBRACIONES COMO HERRAMIENTA EN EL
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN INGENIOS AZUCAREROS**

EDGAR ROBERTO MEJÍA GALDÁMEZ

ASESORADO POR: ING. JUAN CARLOS CORCUERA RODRÍGUEZ

GUATEMALA, AGOSTO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE VIBRACIONES COMO HERRAMIENTA EN EL
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN INGENIOS AZUCAREROS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDGAR ROBERTO MEJÍA GALDÁMEZ

ASESORADO POR: ING. JUAN CARLOS CORCUERA RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

Guatemala, agosto de 2004

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS DE VIBRACIONES COMO HERRAMIENTA EN EL
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN INGENIOS AZUCAREROS**

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de noviembre de 2000.

Edgar Roberto Mejía Galdámez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahan Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR:	Ing. Rene Alfonso Aguilar Marroquín
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Francisco López Martínez
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Guatemala, 18 de mayo de 2004

INGENIERO
José Arturo Estrada Martínez
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
USAC

Señor Director:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado: “ANÁLISIS DE VIBRACIONES COMO HERRAMIENTA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN INGENIOS AZUCAREROS”, desarrollado por el estudiante universitario EDGAR ROBERTO MEJÍA GALDÁMEZ, previo a optar por el título de Ingeniero Mecánico.

El trabajo presentado por el estudiante Mejía ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios, consultando la bibliografía adecuada y siguiendo las recomendaciones de la asesoría.

Por todo lo anterior, tanto el autor como la asesoría, somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de tesis y en consecuencia, por medio de la presente me permito APROBARLO para los efectos de graduación del autor.

Atentamente,

Juan Carlos Corcuera Rodriguez
Ingeniero Mecánico
Colegiado 4614

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios Por darme la sabiduría y voluntad para culminar este anhelo.
- Mis padres Rudecindo Mejía Ramírez
Clara Luz Galdámez Orellana de Mejía
Por su amor y sus múltiples esfuerzos, que este triunfo sea motivo de satisfacción y recompensa a todos sus sacrificios.
- Mi esposa Adalgiza Acevedo Rodríguez de Mejía
Por su amor, comprensión y apoyo
- Mi Hijo Diego Roberto Mejía Acevedo
Con todo mi amor y que este triunfo sirva como incentivo en tu vida
- Mis hermanos Miriam Lyceth, Rudi Fernando, Iris Amparo, Edwin Oswaldo y Vidal Arnulfo
Por su solidaridad y apoyo
- Mi patria Guatemala
- La Facultad de Ingeniería
- La Universidad de San Carlos de Guatemala

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Carlos Corcuera Rodríguez, por el apoyo incondicional que me brindó en la elaboración del presente trabajo.

Al Ingeniero José Arturo Estrada Martínez, por el apoyo brindado.

Al Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por el apoyo brindado.

A Elia de Rivera por su valiosa colaboración.

Al Ingeniero Carlos Eduardo Archila Díaz, por su amistad y valiosa colaboración en mi desarrollo profesional.

A mis amigos y compañeros de trabajo de Ingenio Tierra Buena, por la amistad y apoyo que me brindaron.

A mis amigos.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1 MARCO TEÓRICO	1
1.1 Proceso de fabricación de azúcar	1
1.1.1 Siembra y cultivo de la caña	1
1.1.2 Cosecha	1
1.1.3 Diagrama del proceso de producción de azúcar	2
1.1.4 Preparación de la caña	4
1.1.5 Extracción del jugo	4
1.1.6 Clarificación	5
1.1.7 Evaporación	6
1.1.8 Cristalización	7
1.1.9 Centrifugado	7
1.1.10 Envasado	8
1.1.10.1 Secado del azúcar	8
1.1.10.2 Enfriamiento del azúcar	8
1.2 Teoría de vibraciones	8
1.2.1 Vibraciones mecánicas	8
1.2.1.1 Principios	9
1.2.1.2 Vibración periódica	9
1.2.1.3 Vibración armónica	9
1.2.1.4 Suma de vibraciones	10
1.2.1.5 Representación de vibraciones periódicas	10
1.2.1.6 Tipos de medidas para vibraciones mecánicas	11
1.2.1.7 Características de las vibraciones armónicas	13
1.2.1.8 Expresión de magnitudes de vibración	14
1.3 Análisis de vibraciones	14
1.3.1 Consideraciones al analizar una máquina	15
1.4 Causas de las vibraciones	19
1.4.1 Desbalance	19
1.4.1.1 Desbalance estático	22
1.4.1.2 Desbalance de par	23
1.4.1.3 Desbalance dinámico	23

1.4.2	Falta de alineación	25
1.4.2.1	Errores en los acoples	26
1.4.2.1.1	Errores de faceado	26
1.4.2.1.2	Errores de centrado	28
1.4.2.1.3	Errores de paso unión	29
1.4.2.2	Errores de alineación	30
1.4.3	Cojinetes o rodamientos defectuosos	33
1.4.4	Chumaceras defectuosas	34
1.4.5	Problemas de engranajes	35
1.4.6	Problemas eléctricos	35
1.5	Severidad de las vibraciones	36
1.6	Balanceo de equipo rotativo	39
1.6.1	Balanceo estático	42
1.6.2	Balanceo dinámico	44
2	PLAN DE MONITOREO	47
2.1	Equipos a evaluar	47
2.2	Descripción de los equipos a evaluar	48
2.2.1	Picadoras de caña	48
2.2.2	Centrifugas continuas	50
2.2.3	Ventiladores	52
2.3	Formatos para la recolección de información	53
3	EVALUACIÓN DE CAMPO	57
3.1	Evaluación de ventiladores	57
3.2	Evaluación de picadoras de caña	60
3.3	Evaluación de centrifugas continuas	63
4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
4.1	Discusión evaluación de ventiladores	67
4.1.1	Primera medición ventiladores	67
4.1.2	Segunda medición ventiladores	67
4.1.3	Tercera medición ventiladores	68
4.2	Discusión evaluación de picadoras de caña	69
4.2.1	Primera medición picadoras de caña	69
4.2.2	Segunda medición picadoras de caña	69
4.2.3	Tercera medición picadoras de caña	69
4.3	Discusión evaluación de centrifugas continuas	70
4.3.1	Primera medición centrifugas continuas	70
4.3.2	Segunda medición centrifugas continuas	70
4.3.3	Tercera medición centrifugas continuas	71

CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Proceso de elaboración de azúcar	3
2	Vibración armónica	9
3	Suma de vibraciones	10
4	Representación de vibraciones periódicas	11
5	Expresión de magnitudes de vibración	14
6	Ubicación de sensores	16
7	Desbalance estático	22
8	Desbalance de par	23
9	Desbalance dinámico	24
10	Error de faceado	27
11	Eje arqueado por error de faceado	27
12	Error de centrado	28
13	Eje arqueado por error de centrado	29
14	Error de paso unión	30
15	Falta de alineamiento angular	31
16	Falta de alineamiento paralelo	31
17	Falta de alineamiento combinado	32
18	Comportamiento de ejes por falta de alineamiento	33
19	Norma VDI 2056 (ISO 2372)	38
20	Balanceo estático	43
21	Balanceo dinámico	44
22	Cuchilla picadora de caña	49
23	Instalación cuchilla picadora	50
24	Esquema centrífuga continua	51
25	Instalación centrífuga continua	51

26	Instalación ventilador de tiro forzado	53
27	Formato para recolección de información	55
28	Formato para recolección de información ventiladores primera medición	57
29	Formato para recolección de información ventiladores segunda medición	58
30	Formato para recolección de información ventiladores tercera medición	59
31	Formato para recolección de información picadoras de caña primera medición	60
32	Formato para recolección de información picadoras de caña segunda medición	61
33	Formato para recolección de información picadoras de caña tercera medición	62
34	Formato para recolección de información centrífugas continuas primera medición	63
35	Formato para recolección de información centrífugas continuas segunda medición	64
36	Formato para recolección de información centrífugas continuas tercera medición	65

TABLAS

I	Conversión de medidas de vibraciones mecánicas	12
II	Norma ISO 1940	40
II	Monitoreo de vibraciones año 1999	47

LISTA DE SÍMBOLOS

r.p.m	Revoluciones por minuto
T	Período
f	Frecuencia (1/T)
Hz.	Hertz (ciclos por segundo)
s	Desplazamiento vibratorio
v	Velocidad de vibración
a	Aceleración de vibración
m/s²	Metros por segundo al cuadrado
g	Aceleración de la gravedad
ω	Frecuencia rotativa
C.G.	Centro de gravedad
Hp	Potencia (caballos de fuerza)
kW	Potencia (kilowatts)
POS	Posición
H	Horizontal
V	Vertical
A	Axial
CPM	Ciclos por minuto
mm/seg	Milímetros por segundo

GLOSARIO

Aceleración	Razón de cambio de la velocidad respecto al tiempo.
Alineación	Posición en la cual las líneas centro de dos ejes deben ser lo mas colineales posible, en el momento de operación de la maquinaria.
Axial	Posición del sensor que va en el sentido de la línea del eje.
Azúcar	Cuerpo sólido cristalizante, de color blanco en su estado puro, soluble en agua, extraído de varios vegetales, principalmente del la caña de azúcar y de la remolacha.
Bagazo	Es el producto sólido que sale de los molinos después de efectuarse la extracción del jugo de la caña.
Balanceo	Procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa del un rotor con su centro de rotación.
Brix	Porcentaje en peso de sólidos solubles disueltos presentes en una solución.

Cachaza	La cachaza o torta de filtro es el principal residuo de la industria del azúcar de caña, La cachaza es producida durante la clarificación que se hace al jugo de caña en la industria azucarera. Se recoge a la salida de los filtros al vacío, presentando aproximadamente un 25% de materia seca, Físicamente la cachaza es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua.
Caña de azúcar	Planta gramínea, originaria de la India, con el tallo leñoso, de unos dos metros de altura, hojas largas, lampiñas y flores purpúreas en panoja piramidal, el tallo está lleno de un tejido esponjoso y dulce del que se extrae jugo para la producción de azúcar.
Centro de gravedad	Es la representación de la masa de un cuerpo en un punto.
Ciclo	Es un rango de valores en los cuales u fenómeno periódico se repite.
Corte mecanizado	Proceso por medio del cual se cosecha la caña de azúcar utilizando máquinas, las cuales cortan la caña y la depositan en camiones para su traslado al ingenio.
Desplazamiento	Cambio de posición de un objeto o partícula de acuerdo a un sistema de referencia.

Equilibrado en sitio	Corrección del desbalance de un equipo en su estado operativo, es decir, en su instalación final.
Excentricidad	Variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.
Extracción	Es la separación del jugo de caña de la fibra, esta se realiza en los molinos.
Fase	Es un retardo en el tiempo de dos señales, expresado en grados de rotación.
Fibra	Material sólido que queda después de extraer el jugo de la caña.
Frecuencia	Es el recíproco del período y significa número de oscilaciones completas por unidad de tiempo.
Horizontal	Generalmente es la posición que se le da al sensor, que va perpendicular al sentido de la gravedad.
Imbibición	Alimentación de agua caliente al último o a los dos últimos molinos para mejorar la extracción de sacarosa por medio de mecanismos de intercambio y osmosis.
Ingenio azucarero	Industria dedicada al proceso de la caña de azúcar, para su transformación en azúcar, clasificada como agroindustria.

Jugo diluido	Es la combinación de jugos que se obtienen de los diferentes molinos del tandem. Constituido por el jugo primario o del primer molino y jugo residual o del último molino.
Maceración	Agregar jugo de menor pureza al molino anterior.
Maza	Rodillo de hierro fundido, utilizado para comprimir la caña de azúcar entre las mismas y extraer el jugo de sus fibras.
Mantenimiento predictivo	Estrategia de mantenimiento en la que se evalúa la condición mecánica de la máquina y su evolución a través del tiempo, mediante el uso de diversas técnicas de diagnóstico y el estudio de la tendencia de los parámetros operacionales. Con base a estas indicaciones, se programan las necesidades de mantenimiento de la maquinaria.
Micra	Medida de longitud o distancia. Equivalente a la milésima parte de un milímetro.
Molienda	Proceso por el cual la caña es comprimida en los molinos para extraer el jugo.
Molino	Equipo compuesto por mazas, en el cual se comprime la caña para extraerle el jugo.

Período	Es el tiempo necesario para que ocurra una oscilación o se complete un ciclo, generalmente esta dado en minutos o segundos.
Picadora de caña	Máquina que pica la caña al golpearla y cortarla con machetes que están colocados en sus soportes o brazos.
Radial	Posición del sensor que va perpendicular a la línea del eje.
Sensor	Es un dispositivo de medición que transforma una variable física en una señal eléctrica.
Tacho	Es un evaporador de simple efecto, en el cual se producen y se desarrollan cristales de azúcar, a partir, del la miel que lo alimenta.
Velocidad	Razón de cambio del desplazamiento respecto al tiempo.
Vertical	Posición que se le da al sensor, que va en el sentido de la aceleración de la gravedad.
Vibración	Es un movimiento oscilatorio.
Zafra	Época en la cual se cosecha la caña de azúcar y se procesa en un ingenio azucarero.

RESUMEN

Todas las máquinas vibran, producto de cargas que se generan en ellas. La mayoría de éstas tienen niveles de vibración que permanecen bajos y constantes, pero es conveniente verificar periódicamente en el tiempo. Por esta razón es importante la implementación de un programa de monitoreo de vibraciones como herramienta de ayuda en el mantenimiento predictivo.

El presente trabajo presenta la forma en que se puede implementar el mismo, así, como los criterios que se deben tomar para interpretación de las vibraciones y su aplicación en la industria azucarera. Presenta una descripción del proceso de producción de azúcar de caña, se enumeran las principales causas que producen las vibraciones y los criterios para evaluar la severidad de las mismas.

Para implementar el programa es necesario definir a qué equipos se les aplicará el monitoreo, además se hace una descripción de los mismos ya que el conocer su características y su forma de operar ayudan a interpretar en mejor forma las condiciones de vibración que se presentan. Para interpretar la información que se obtiene en el campo es necesaria la elaboración de formatos para la recolección de la misma.

Se presenta la información de campo de los equipos evaluados (ventiladores, picadoras de caña y centrifugas continuas), así como la discusión de los resultados obtenidos en dichas evaluaciones, donde se puede notar que muchas de las vibraciones que se presentan en estos equipos puede ser evitadas implementado tareas preventivas y tomando los cuidados pertinentes al efectuar el montaje de los equipos.

OBJETIVOS

General

Presentar la utilización del análisis de vibraciones como una herramienta de diagnóstico en el mantenimiento predictivo, que permita evitar daños prematuros en los equipos y paradas no deseadas en la operación, haciendo más eficiente el proceso, lo que conlleva a una economía para la empresa en el manejo de sus recursos financiero y humanos.

Específicos

1. Describir la teoría básica de vibraciones, las causas que las producen y la forma de corregirlas.
2. Seleccionar equipos críticos para el proceso a los cuales se debe monitorear, describir su forma de operación y elaborar los formatos necesarios para efectuar el monitoreo.
3. Utilizar tecnología moderna para el diagnóstico de fallas en máquinas.
4. Efectuar mediciones de vibraciones de equipos en sitio, y diagnosticar la causa de las vibraciones que presenten, basado en el análisis de las mismas.

INTRODUCCIÓN

El azúcar es uno de los productos líderes en la economía nacional, superado únicamente por el café; en la actualidad en Guatemala operan 17 ingenios azucareros, los cuales se han ido desarrollando, incrementado año con año la producción nacional a través de mayor eficiencia en la operación.

Para lograrlo ha sido necesaria la utilización de métodos y herramientas que permitan aprovechar en mejor forma los recursos con los que se cuenta: energía, mano de obra, materiales y además, mejorar sus condiciones de operación.

La industria cuenta con diversidad de equipos y maquinaria para la preparación de la caña, extracción del jugo, generación de vapor, generación de energía eléctrica y separación de los granos de azúcar y, que por las características de operación de los mismos, están sujetos a sufrir desgastes, problemas de alineación y otros, que pueden generar muchos de ellos vibraciones.

Este trabajo tiene la finalidad de presentar el uso del análisis de vibraciones como una herramienta de diagnóstico en el mantenimiento predictivo y evitar así, daños prematuros en los equipos de los ingenios azucareros.

Además, poner a disposición de los estudiantes de ingeniería mecánica, técnicos y profesionales de la ingeniería mecánica, así como a profesionales de otras carreras afines un documento que contenga una descripción rápida de las causas que provocan las vibraciones y formas de corregirlas.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Proceso de fabricación de azúcar

Los ingenios azucareros tienen dos épocas en el año, la de reparación y la de zafra. La primera es cuando se le efectúa mantenimiento a todo el equipo de la fábrica, mientras que en el campo se siembra y se cultiva la planta de caña de azúcar; y la segunda, es el período de cosecha de la caña y producción del grano de azúcar.

1.1.1 Siembra y cultivo de la caña

La caña se planta en tallos, con dos o tres yemas, en agujeros poco profundos en surcos en la parte superior de un camellón, desarrollando sus propias raíces; éstas proporcionan humedad a las yemas, y germinan produciendo más brotes, que forman macollas o las conocidas como planta madre. Después de la cosecha brotan nuevas yemas en la base de la planta, lo que produce la cosecha de retoños.

El ciclo de crecimiento, cosecha y retoñado, se repite hasta que los bajos rendimientos de la caña hacen antieconómico permitir más retoñado. En Guatemala este ciclo de reproducción se repite de cinco a ocho veces máximo.

1.1.2 Cosecha

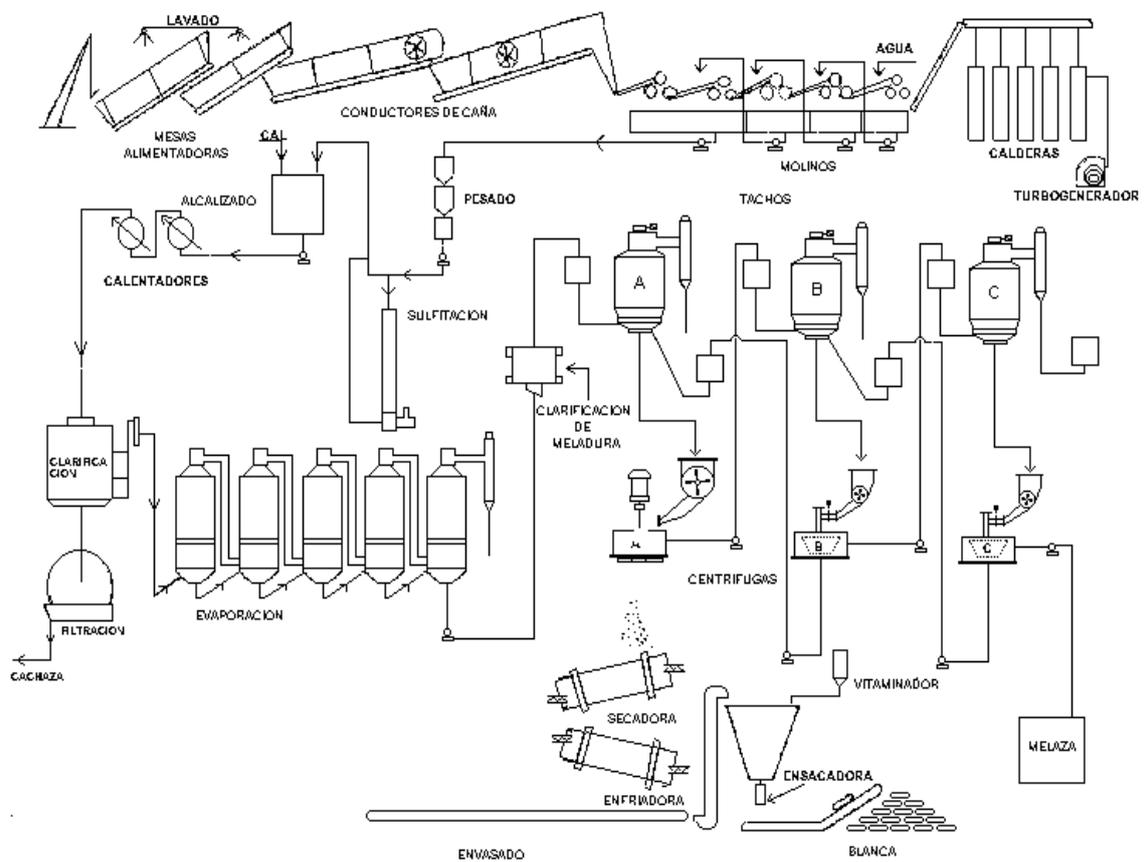
El corte a mano sigue siendo la forma más común de cosecharla en Guatemala, los tallos se cortan a ras del suelo con machetes especiales y los cogollos se cortan y se separan del tallo, la caña después de cortada es trasladada en camiones al ingenio para efectuar la molienda.

En la actualidad en Guatemala se está implementado el corte mecanizado, pero este requiere que los terrenos sean de preferencia planos para obtener mejores resultados.

1.1.3 Diagrama del proceso de producción de azúcar

Con el objeto de facilitar la comprensión del proceso de producción del azúcar de caña, se presenta, en la figura 1, el diagrama de proceso de un ingenio azucarero, a partir de la cual describirá cada uno de los pasos a seguir en el proceso.

Figura 1 Diagrama del proceso de producción de azúcar



1.1.4 Preparación de la caña

La caña procedente del campo, es pesada al ingresar al ingenio, se descarga en las mesas alimentadoras donde es lavada para eliminar impurezas, tales como arena, tierra, hojas secas, etc., y pasa a los conductores de caña donde se prepara para la molienda. Esta preparación consiste en desmenuzar la caña en pequeños pedazos utilizando para ellos juegos de cuchillas que giran entre 400 a 800 revoluciones por minuto, y que al golpear los tallos de caña los parten en pedazos de aproximadamente 5 a 15 cm. de largo; esta preparación tiene como objetivo incrementar la densidad de la caña y obtener mejores resultados en la extracción del jugo.

1.1.5 Extracción del jugo

Constituye la primera etapa del proceso; el jugo de caña es extraído mediante compresión repetida de la caña en cada unidad de molino, los cuales constan de tres o cuatro cilindros horizontales llamados mazas, que son colocados en forma piramidal. Para ayudar a la extracción del jugo, se aplican aspersiones de agua o jugo diluido sobre la capa de bagazo según sale de cada molino, lo anterior es conocido como imbibición o maceración. Los mejores procedimientos de molienda logran extraer, en forma de jugo más del 95% del azúcar que contiene la caña; este porcentaje se llama la extracción de sacarosa, o, más sencillamente, la extracción.

El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, la fibra con un 40 a 50% de humedad. Este producto es transportado a las calderas para servir como combustible.

1.1.6 Clarificación

El objetivo primordial de la clarificación del jugo, es eliminar la cantidad máxima de impurezas que contiene el jugo extraído por los molinos, comprende una serie de operaciones:

- a) **Sulfitado:** (Se realiza solo si se está fabricando azúcar blanca) consiste en quemar azufre, obteniéndose un gas llamado anhídrido sulfuroso, este se mezcla con el jugo, para aprovechar las cualidades de agente blanqueador del gas.
- b) **Alcalizado:** es el proceso de clarificación universal, que es utilizado para remover las impurezas, tanto solubles como insolubles, y consiste en agregar cal, en forma de lechada, con una dosificación estimada de 1.25 libras de cal por tonelada de caña, con lo que se neutraliza la acidez natural del jugo y se forman sales insolubles de cal, principalmente en forma de fosfatos de calcio.
- c) **Calentado:** Se lleva el guarapo hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba.
- d) **Decantación:** el jugo es introducido a unos tanques cerrados llamados clarificadores, donde el flujo es bastante lento, donde permite que las sales que se formaron con la ayuda del alcalizado y el calentamiento se precipiten formando lodos en el asiento de los tanques y el jugo claro salga por la parte superior donde es recolectado y trasegado a los evaporadores.
- e) **Filtrado:** el lodo, formado en el fondo de los clarificadores, es bastante rico en azúcar, y resulta económicamente provechoso recuperar ese azúcar, lo cual se logra mezclando este lodo con bagacillo o bagazo fino y pasarlo a filtros rotativos, que son tambores cilíndricos que están conectados a una bomba de vacío que succiona el jugo remanente y lo regresa al proceso.

El jugo filtrado es reprocesado, mientras que el residuo final (cachaza) se desecha o bien se devuelve a los campos para ser utilizado como fertilizante.

1.1.7 Evaporación

La evaporación es la operación que extrae agua de una solución por vaporización, mediante la aplicación de calor en aparatos llamados de simple o múltiple efecto.

La fabricación del azúcar de caña requiere evaporar un alto grado del agua presente en el jugo, procedente de los clarificadores, que consiste en un 85%, y el resto lo constituyen los sólidos. Hay que eliminar la mayor parte del agua para que quede un jarabe con un contenido en sólidos de 60% o más.

El evaporador de simple efecto está constituido por una calandria con tubos verticales, generalmente de cobre, los cuales son intercambiadores de calor, que por un lado conducen el jugo, y por el otro el vapor que cede su calor latente para evaporar el agua presente en el jugo.

El evaporador de múltiple efecto más sencillo estaría constituido por dos evaporadores de simple efecto, conectados en serie, la salida del vapor del primer efecto sería la fuente de vapor del segundo; el múltiple efecto se extiende por general a tres, cuatro y más efectos.

Luego de que el jugo ha pasado por los evaporadores y se le ha dado una concentración de 60° a 65° brix, toma el nombre de meladura, el cual es trasladado al área de tachos.

1.1.8 Cristalización

La cristalización del azúcar se lleva a cabo en aparatos llamados **tachos al vacío**. La función de los tachos es la producción y desarrollo de cristales de azúcar satisfactorios a partir del jarabe del que se alimenta, y se logra a través de la concentración de la miel hasta quedar saturada de azúcar. Al llegar al punto de saturación, se introducen diminutos cristales que sirven de núcleos a los granos de azúcar.

Los núcleos crecen en varias etapas, llamadas tercera, segunda y primera, para un sistema de doble magma, y cada etapa corresponde a un tamaño y calidad de grano; el de primera es el azúcar comercial.

Luego de que se ha llegado a la máxima capacidad del tacho y la masa cocida tiene el brix adecuado (90° a 92° brix para la masa A, 94° a 96° brix para la masa B, 98° a 99° para la masa C), ésta es descargada y llevada a las centrifugas.

1.1.9 Centrifugado

Las centrifugas consisten en un canasto o tambor que posee telas o malla en todo el contorno, las cuales giran a 1,200 r.p.m. o más y por medio de fuerza centrífuga la masa cocida es enviada a la pared del tambor; la miel atraviesa las telas por medio de las perforaciones que tiene y los cristales se quedan atrapados en ellas, y así se logra la separación de granos y mieles.

La miel es enviada al área de tachos para su recirculación, y los granos de azúcar se transportan por medio de bandas al área de envasado.

1.1.10 Envasado

En esta área se realizan varias operaciones que son:

1.1.10.1 Secado del azúcar

Este se lleva a cabo en un tambor giratorio con una inclinación de 20°, por donde se hace circular aire caliente a contra corriente del azúcar, y evapora así la humedad de los cristales.

1.1.10.2 Enfriamiento del azúcar

Este consiste en pasar el azúcar por un tambor en cuyo interior esta circulando aire a temperatura ambiente en contra corriente; al tener los cristales secos y fríos, se ha obtenido el azúcar comercial, que es transportada por medio de conductores a tolvas de pesaje y envasado.

1.2 Teoría de vibraciones

1.2.1 Vibraciones mecánicas

Se entiende por vibraciones mecánicas las oscilaciones perceptibles y medibles en la superficie de las máquinas, elementos constructivos, sus fundaciones, etc. También es llamado ocasionalmente ruido estructural ya que se propaga exclusivamente en cuerpos sólidos.

Las vibraciones mecánicas solo pueden ocurrir técnicamente cuando las masas se mueven. Esas masas pueden ser partes rotativas u oscilantes de las máquinas, así como líquidos y gases en contacto con cuerpos sólidos.

1.2.1.1 Principios

La vibración en términos generales, significa el movimiento de una masa o un cuerpo respecto a su posición de reposo, es un fenómeno que describe oscilaciones en forma periódica.

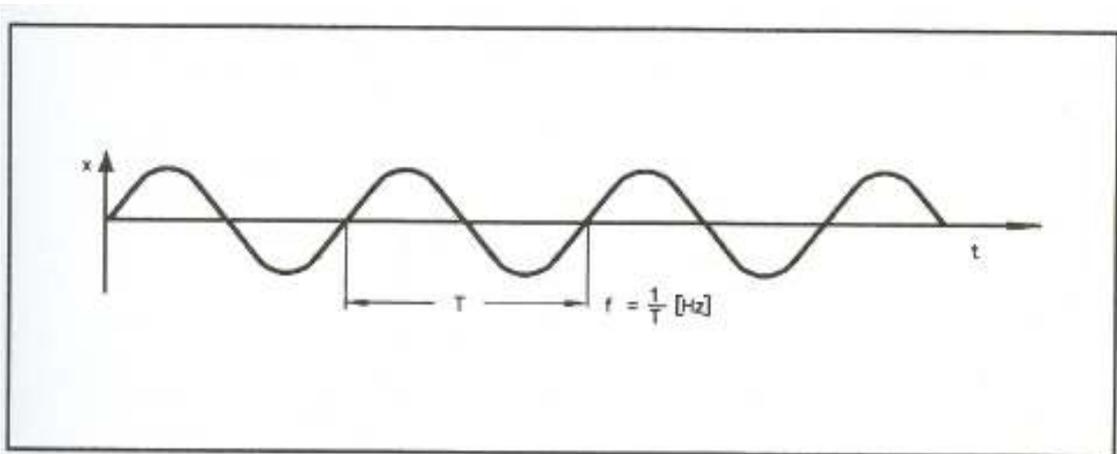
1.2.1.2 Vibración periódica

Las vibraciones periódicas se repiten a sí mismas con todas sus características después de un cierto intervalo de tiempo. Se denomina periodo (T) a este intervalo de tiempo que caracteriza la repetición. La frecuencia con que esa repetición ocurre es “ $f = 1 / T$ “ y se expresa en ciclos por segundo (hertz = Hz.).

1.2.1.3 Vibración armónica

La forma básica de una vibración periódica es la vibración armónica. Es también denominada vibración senoidal y tiene una única frecuencia discreta como se muestra en la figura 2. Tal vibración puede ser originada por ejemplo por desequilibrio del rotor.

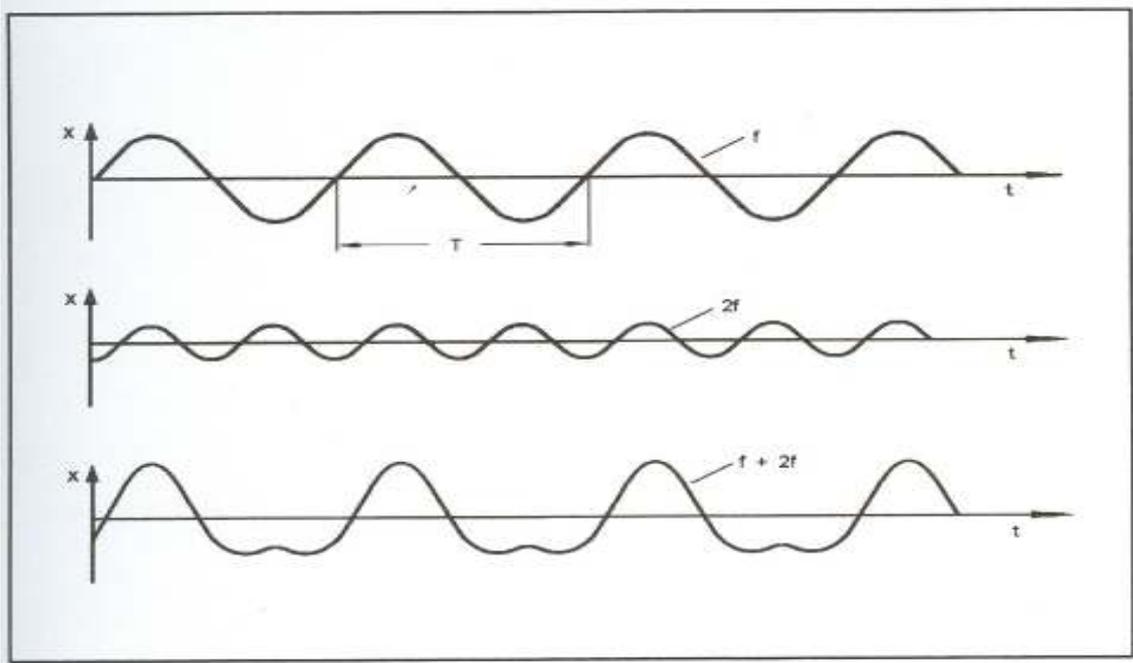
Figura 2. Vibración armónica



1.2.1.4 Suma de vibraciones

Si dos o más vibraciones armónicas de diferentes frecuencias ocurren al mismo tiempo, se superponen y resulta una suma de vibraciones. La vibración resultante aún será periódica porque se repite a intervalos regulares de tiempo. La suma de vibraciones existe por ejemplo en cajas de engranajes y en máquinas con varios rotores desequilibrados y son el caso más comúnmente encontrado en la vida real. La figura 3 muestra un esquema de la suma de vibraciones.

Figura 3. Suma de vibraciones

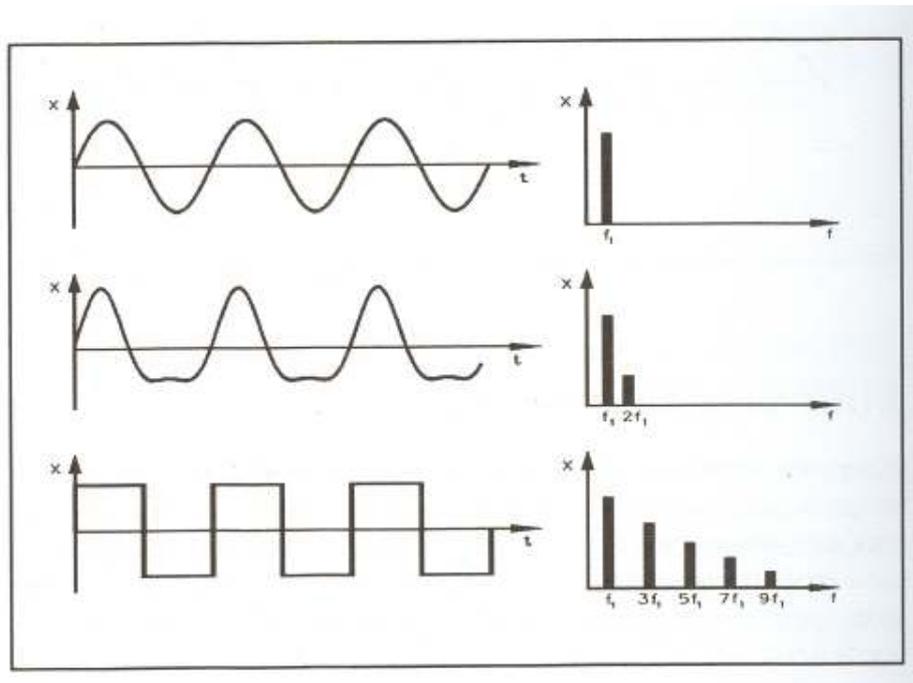


1.2.1.5 Representación de vibraciones periódicas

Las vibraciones periódicas se han representado en el tiempo en las figuras 2 y 3, o sea, que se muestran a lo largo de un periodo de tiempo.

En la práctica, las vibraciones se representan frecuentemente con relación a la frecuencia, porque ello provee una mejor visualización de los componentes separados. Este tipo de representación es conocida como espectro de frecuencias y se muestra en la figura 4.

Figura 4. Representación de vibraciones periódicas



1.2.1.6 Tipos de medidas para vibraciones mecánicas

Son tres las magnitudes comúnmente usadas para las vibraciones mecánicas:

Desplazamiento vibratorio “s”

Este es el desvío del punto de medida desde su posición de reposo. La unidad de medida es la micra (1 micra = 1/1000 mm) ó la milésima (1 milésima = 1 /1000 pulgadas).

Velocidad de vibración “ v “

Esta es la velocidad con que el punto de medida se mueve respecto de su posición de reposo. Puede expresarse en mm/seg. ó plg./seg.

Aceleración de vibración “ a “

Esta es la aceleración con la que el punto de medida se mueve respecto de su posición de reposo. Las unidades de medida pueden ser m/s² ó g (1 g = 9.81 m/s²)

Conversión de desplazamiento vibratorio, velocidad y aceleración. (Solo válido para vibraciones armónicas). El valor de la frecuencia rotativa ω expresada en 1/s se calcula de acuerdo a la relación: $\omega = \pi \times f$. Para cálculos aproximados puede usarse $\omega = n / 10$, donde n = velocidad del rotor en rpm.

Tabla I Conversión de medidas de vibraciones mecánicas

Conversión	Desplazamiento vibratorio s	Velocidad de vibración v	Aceleración de vibración a
Desplazamiento Vibratorio s =	1	v / ω	a / ω^2
Velocidad de vibración v =	$s * \omega$	1	a / ω
Aceleración de vibración a =	$s * \omega^2$	$v * \omega$	1

1.2.1.7 Características de las vibraciones armónicas

Una vibración armónica puede ser completamente descrita (caracterizada) por su amplitud, frecuencia y ángulo de fase.

Amplitud

Al máximo valor instantáneo “ x ” de una vibración armónica se le denomina amplitud. La amplitud es una medida de la magnitud de la vibración, y puede ser utilizada para evaluar la carga vibratoria de la máquina.

Frecuencia

La frecuencia f expresa cuantas veces una vibración se repite en un segundo, y se expresa en Hz. En el diagnóstico de máquinas las frecuencias contienen información decisiva sobre la causa de la vibración.

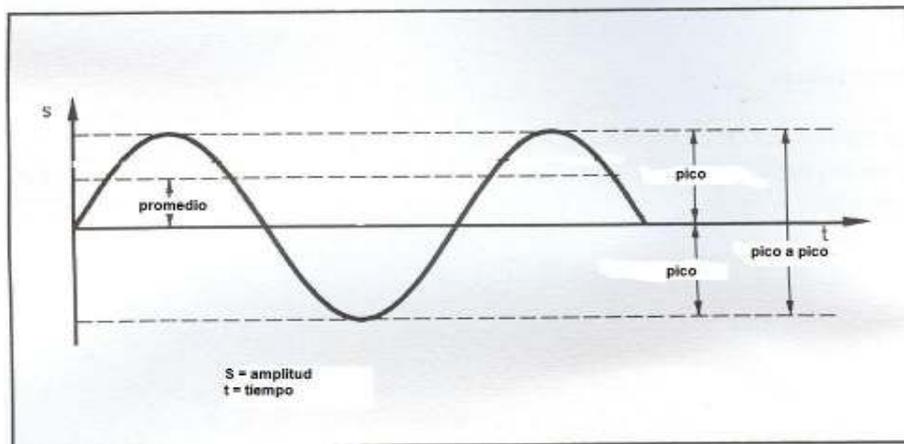
Ángulo de fase

El ángulo de fase define la posición inicial de una componente vibratoria al tiempo $t = 0$. La información sobre el ángulo de fase o de la posición de la fase de una vibración es de la mayor importancia para corregir el desequilibrio de un rotor, o para diagnosticar ciertas causas de vibración.

1.2.1.8 Expresión de magnitudes de vibración

La amplitud de una vibración puede ser indicada de varias formas. La figura 5 muestra la representación de los valores “pico a pico”, “pico” y “promedio”.

Figura 5. Expresión de magnitudes de vibración



1.3 Análisis de vibraciones

Entre las variadas técnicas que se tiene a disposición para el monitoreo de equipos con fines de mantenimiento predictivo, la más útil es la del análisis de vibraciones.

Es común y casi se podría decir que natural que las personas tiendan a estimar cual es el estado de funcionamiento de una máquina en base al ruido que esta emite. Si un motor **suena bien** tendemos a pensar que está en buenas condiciones. En cambio si un motor **suena mal** por lo general creemos que está mal. En realidad, en la mayoría de los casos tenemos bastante razón con este tipo de estimaciones.

El ruido que emite una máquina es producto de su vibración, sin embargo el ruido no es más que parte de la vibración de una máquina. El espectro de vibraciones contiene mucha más información y no es necesario depender del sólo oído para percibirla y evaluarla, en la actualidad existen excelentes equipos de análisis de vibraciones que permiten medir e interpretar la vibración en términos más precisos de lo que hacemos al oír una máquina.

No solo por el ruido tendemos a sentir una máquina, son frecuencia también por el tacto. En eso hay bastante acierto ya que está comprobado que el tacto entrenado logra diagnósticos acertados. La desventaja es que no se obtiene una medida cuantitativa y que sólo las personas que conocen muy bien la máquina pueden hacer un diagnóstico acertado. Esto nos da bases consistentes para establecer programas sistemáticos de monitoreo predictivo.

Las vibraciones que se pueden detectar en las máquinas con el uso de analizadores de vibraciones y sus sensores, son causadas por diversas fuentes de energía, también llamadas fuentes de excitación. Las características de la vibración producida dependen de las características de las fuentes de excitación.

1.3.1 Consideraciones al analizar una máquina

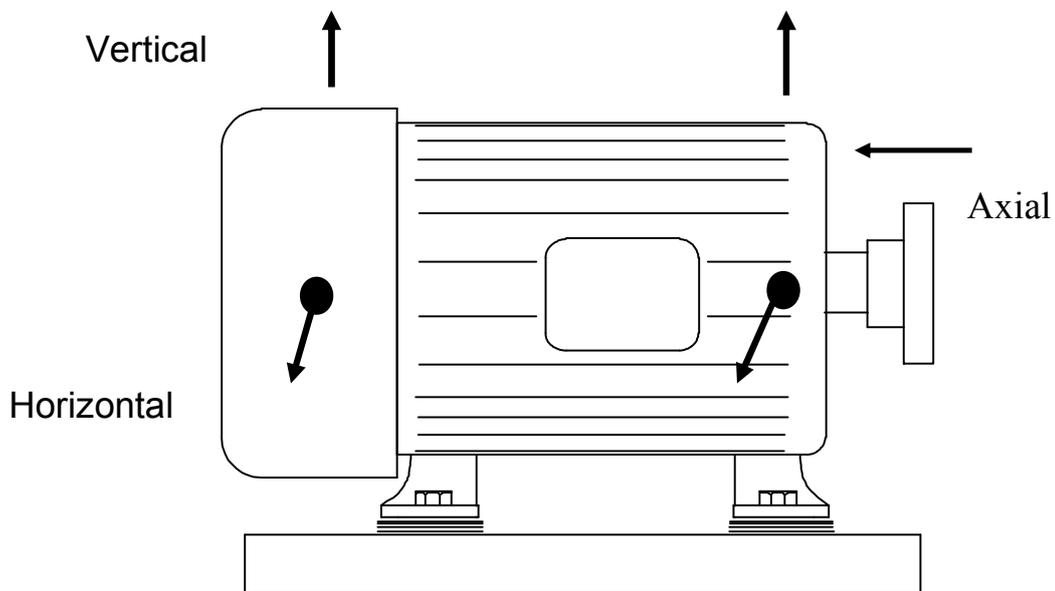
Al efectuar el análisis de vibraciones en una máquina, es importante tener cuidado en algunos aspectos para poder obtener los mejores resultados.

Siempre hay que tratar de ubicar los sensores lo más cerca posible de los cojinetes o apoyos principales de la máquina que se va a analizar.

Es importante tener términos claramente establecidos para identificar las posiciones en las que se coloca el sensor.

- Horizontal
- Vertical
- Axial

Figura 6. Ubicación de sensores



Lo primero que hay que hacer, incluso antes de llegar hasta donde está la máquina es tener toda la información relevante.

Antes de proceder a medir vibraciones hay que “darle una vuelta” a la máquina. La idea es hacer una inspección general a manera de asegurarse de que no hay problemas mayores. Se recomienda ir palpando la máquina para sentir su vibración en varios puntos ¡cuidado con las partes en movimiento! Esta operación es riesgosa y se debe proceder con mucha cautela.

Evítese el uso de mangas largas y cualquier indumentaria floja o colgantes que pueda atorarse en las partes móviles de la máquina. En particular resulta útil sentir como vibran los apoyos de la máquina cerca de los anclajes que la sostiene al suelo o a su soporte. Si la máquina está bien anclada todos los soportes deben vibrar con una intensidad semejante. En ciertos casos los problemas de vibración se deben a anclajes flojos y su solución es tan simple como apretar la tuerca de un anclaje. Esto se percibe mejor con la parte posterior de la mano, concretamente con las uñas. La sensibilidad de la mano es muy fina, su única limitante es que no da valores numéricos. También hay que aprovechar esa rápida inspección para detectar fuentes parásitas de vibración como puede ser tuberías, tapas flojas, soportes de accesorios o aditamentos que por estar soportados de manera poco rígida provoquen señales que interfieran en las medidas.

En la mayoría de los casos estas señales son poco relevantes pero si estorban para detectar lo que es más sustancial. La misma inspección sirve para detectar la forma en que se comportan las temperaturas en la máquina, hay que pensar donde es normal que la máquina genere calor; en los cojinetes, en los engranajes, en acoples que absorben desalineamientos importantes no tan grandes pero que trabajan a alta velocidad. Si en la inspección de temperaturas lo detectado no parece normal, generalmente vale la pena averiguar más. Puede ser señal de problemas.

Siempre que se pueda hay que hacer pruebas de sentido común: variar la velocidad de la máquina, compararla con máquina iguales en condiciones semejantes, revisar cable y conexiones, revisar baterías del equipo, etc... Es frecuente encontrarse con que todo estuvo mal medido por causa de algún descuido simple. Hay que ser desconfiado ante resultados extraordinarios (demasiado buenos o demasiado malos).

Es fundamental recordar siempre que cuando se tienen mediciones previas de la misma máquina en condiciones semejantes, se está en una situación mucho más favorable que cuando se mide por primera vez. No solo se tienen los elementos de análisis directos sino que además se tienen elementos de análisis por comparación.

Así muchas veces se detecta la progresión de un deterioro que sin elementos de comparación hubiese pasado desapercibidos.

Lo común para máquinas en buen estado es que de una fecha de monitoreo a la siguiente las variaciones sean mínimas. Si los intervalos de tiempo entre un recorrido de monitoreo y el siguiente son demasiado largos, sistemáticamente se van a encontrar variaciones demasiado importantes. Aquí la palabra demasiado se refiere a que la variaciones son tan importantes que hubiese podido presentarse una amplitud de vibración alarmante entre dos recorridos sucesivos de monitoreo sin que se hubiese podido predecir su aparición en base a las tendencias previamente detectadas. Esto nos da la pauta de la frecuencia con la que se debe especificar el recorrido de monitoreo.

Por otra parte, es difícil desde un punto de vista objetivo decir que la frecuencia de monitoreo es demasiado elevada (hacer recorridos demasiado frecuentes) ya que por pequeño que sea el intervalo de tiempo que transcurre entre dos monitoreos siempre existe la posibilidad de que se presente un problema que progrese rápido y cause una catástrofe en la máquina. Sin embargo, por razones prácticas de costo y disponibilidad de personal es necesario limitar la frecuencia de monitoreo de cada ruta de equipos. No hay recetas de validez indiscutible, sobre la frecuencia de monitoreo, solo hay criterios generales y en cada planta se aplican de manera libre según el criterio de los técnicos.

Se debe tener cuidado de llevar un historial de cada equipo, esto ayudara a la persona que efectúa los monitoreos a interpretar la mediciones efectuadas, y poder determinar una tendencia o tomar la acciones necesarias para evitar un daño prematuro de las máquinas.

1.4 Causas de las vibraciones

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración, reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes, la determinación de las causas y la corrección del problema que ellas representan.

Existen diversos fenómenos que ocasionan las vibraciones de la máquinas, los cuales son por lo general, efectos laterales no deseados, ni por diseño, ni por servicio, ni por mantenimiento, sin embargo la mayoría de ellos existen siempre, y aunque sea necesario detectarlos con ayuda de amplificadores poderosos, éstos efectos, ó la vibración que producen pueden ser utilizados para diagnosticar las condiciones mecánicas de la máquinas que los producen.

Hay condiciones de vibración tales, que no solamente indicarían la existencia ó la posibilidad de daños, o inclusive una tendencia de degradación, sino que son por si mismas causantes de problemas y fallas.

1.4.1 Desbalance

La principal causa de vibración de la maquinaria rotativa es el desbalance, podemos decir que éste siempre esta presente, aunque su magnitud puede variar mucho de máquina en máquina.

El desbalance puede tener diferentes orígenes, siendo entre los principales los siguientes:

Desbalance original: Es aquel que resulta de la distribución no concéntrica de la masa del rotor de una máquina después de su fabricación.

Desbalance por excentricidad de los componentes de un rotor.

Desbalance por mal alineamiento de rotores acoplados rígidamente.

La existencia del desbalance ocasiona que cuando el rotor de una máquina gira, se genera una fuerza centrífuga sobre el mismo. Esta fuerza centrífuga es la causante de que la flecha describa una órbita en torno al centro de giro, la cual es a su vez responsable de la vibración de los apoyos ó chumaceras así como del resto de las partes estacionarias de la máquina.

La fuerza centrífuga producto del desbalance viene a ser la excitación, que somete a un estado de vibración forzada, con la misma frecuencia que el giro del rotor mismo y continuando con cada uno de los restantes componentes del sistema, tales como chumaceras, carcasas, cimentaciones, tuberías, etc.

Tratándose de desbalance como causa de vibración y pensando que el comportamiento de una máquina es especial, se vigila durante su operación a través de parámetros tales como vibración, temperaturas diversas, presiones, con lo cual se puede diagnosticar constantemente el estado mecánico del sistema, y si por otra parte, se parte del supuesto que el estado de desbalance en cuestión es aceptablemente bajo al inicio del periodo de operación del que hablamos, entonces podemos interpretar los cambios de intensidad o tipo de vibración como cambios en la condición de la máquina, lo que a su vez, puede estar íntimamente relacionado con el proceso de deterioro del sistema.

Conociendo de antemano las posibles causas de vibración por desbalance y conociendo el arreglo particular de cada equipo, deberá ser posible identificar el origen de los cambios de características de la vibración, de ésta manera vigilar su aumento y tomar con toda oportunidad la decisión de salir de servicio y emprender trabajos de mantenimiento.

Como es de suponerse, no todas las fallas son paulatinas; hay situaciones totalmente impredecibles que pueden hacer imposible la operación de una máquina, en éste caso también será de utilidad contar con la herramienta de diagnóstico por análisis de vibraciones, tanto por el hecho de que se podrá aún en situaciones de operación crítica de un equipo, facilitar la localización del problema y orientar con ello los trabajos de revisión, haciéndolos con ellos más explícitos.

Como se decía anteriormente el problema en especial es el cambio en la condición de balanceo del rotor de una máquina, los posibles orígenes de tal cambio, son entre otros los siguientes:

Acumulación irregular de depósitos en el rotor.

Desprendimiento del material del rotor, puede ser éste paulatino y difícilmente detectable o súbito y de gran magnitud.

Flexión (temporal o permanente) del rotor, puede estar relacionado el fenómeno con la historia de la operación del sistema.

Desalineamiento de rotores por efecto del sistema de apoyos o de los acoplamientos.

Disminución de la rigidez mecánica o de la capacidad de amortiguamiento de las chumaceras, lo cual a su vez puede confundirse con el aumento al desbalance.

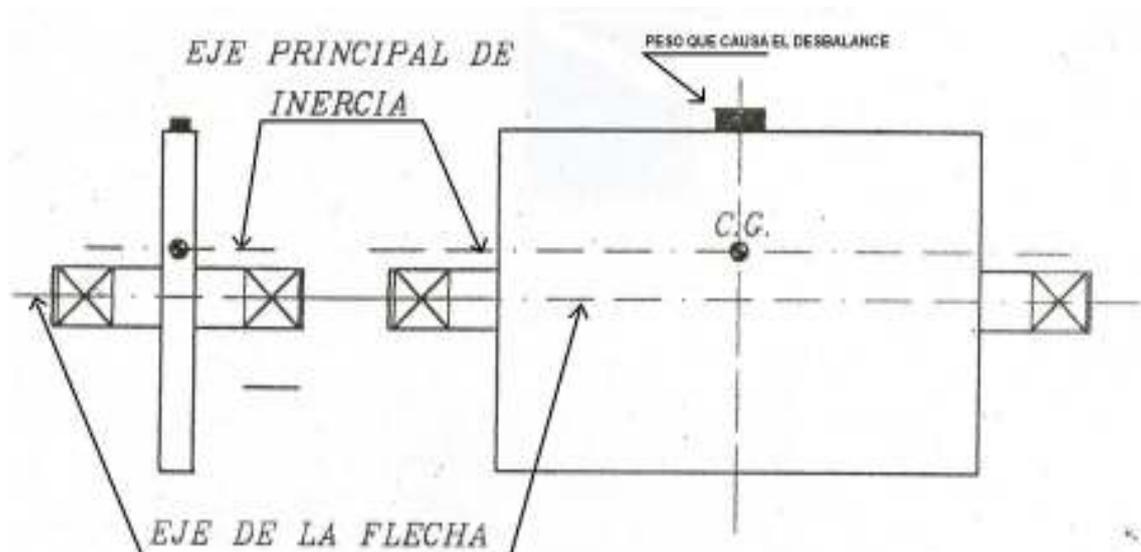
Cambios en la rigidez mecánica o en las características de aislamiento en las máquinas eléctricas, que lleven a la alteración del equilibrio de fuerzas mecánicas que también pueden confundirse con desbalance mecánico.

Dependiendo de la distribución del desbalance a lo largo del rotor, se hace una distinción entre los tipos de desbalance para rotores:

1.4.1.1 Desbalance estático

Si agregamos un desbalance a un rotor perfectamente balanceado en el plano radial en que se encuentra su centro de gravedad, esto constituye un desbalance estático. Este desbalance causa un desplazamiento paralelo del centro del eje de gravedad respecto a eje de giro, igual al desplazamiento del centro de gravedad del rotor completo. La figura 7 muestra un esquema de desbalance estático

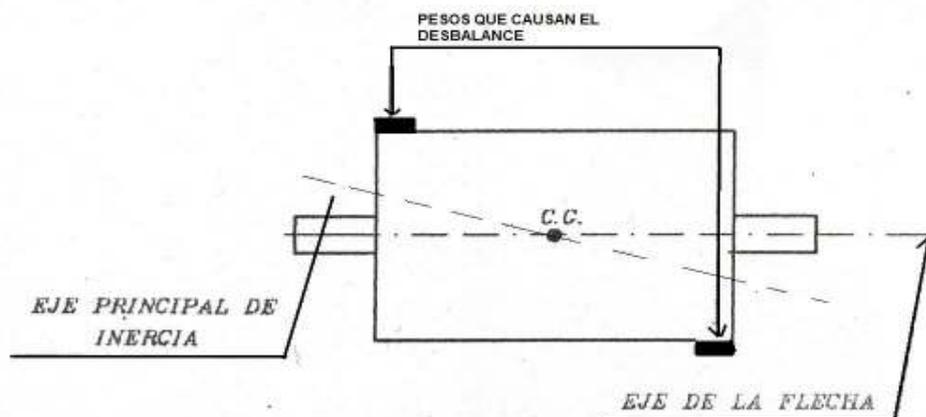
Figura 7. Desbalance estático



1.4.1.2 Desbalance de par

Si, en el caso del rotor plenamente equilibrado, se aplicarán masas iguales de desequilibrio, al mismo radio, en dos planos diferentes, exactamente opuestos uno al otro, como se muestra en la figura 8, eso constituye desequilibrio de par. En este caso, el eje de gravedad se inclina respecto al eje de giro, y lo intersecta en el centro de gravedad del rotor.

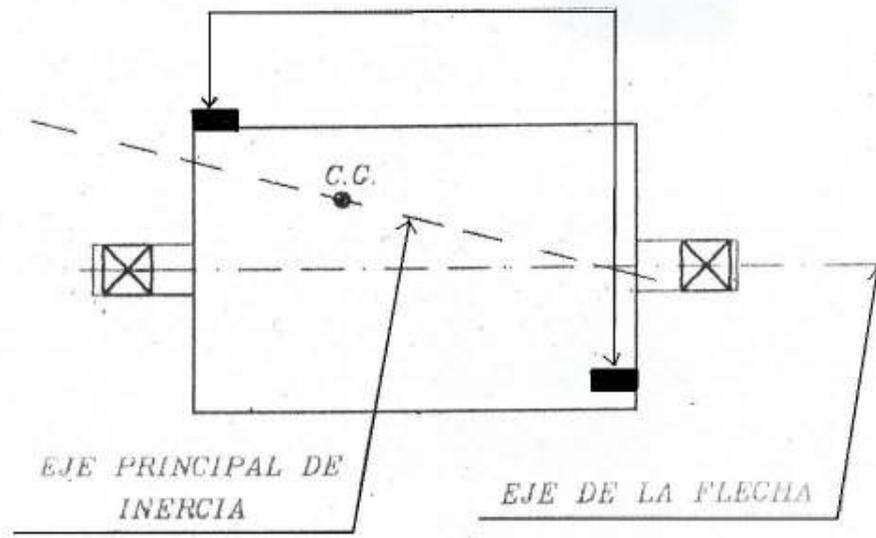
Figura 8. Desbalance de par



1.4.1.3 Desbalance dinámico

En general, como resultado de su fabricación, casi todos los rotores exhiben desequilibrios estáticos y de par. El eje de masa resulta inclinado respecto al de giro, pero no pasa por el centro de gravedad del rotor. Para este tipo de desequilibrio se emplea la denominación común de desequilibrio o desbalance dinámico. Y su representación se muestra en la figura 9.

Figura 9. Desbalance dinámico



El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. En muchos casos, los datos arrojados por un estado de desbalance indican:

- La frecuencia de vibración se manifiesta a 1 X rpm de la pieza desbalanceada.
- La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.
- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las maquinas con ejes horizontales).
- El análisis de fase indica lecturas de fase estables.
- La fase se desplazara 90° si se desplaza el sensor 90° .

1.4.2 Falta de alineación

Una segunda causa de vibración bastante común es el desalineamiento de rotores y carcasas. Al igual que el desbalance, estas vibraciones también tienen características específicas que hacen posible su identificación.

Las modificaciones del alineamiento de un sistema de máquinas pueden tener diversos significados, algunos de los cuales pueden relacionarse con los procesos de desgaste y falla, y servir de criterio para determinar el momento de inicio de los trabajos de mantenimiento.

En la mayoría de los casos los datos derivados de una condición de falta de alineamiento indican lo siguiente:

- La frecuencia de vibración es de 1 x rpm, 2x ó 3x rpm en los casos de una grave falta de alineación.
- La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
- El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.

La falta de alineamiento, aun con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Nota: uno de los indicios más importantes de problemas debidos a falta de alineamiento y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un motivo para sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Durante la operación es posible que los ejes de máquinas:

- Estén desalineados
- Pierdan el alineamiento
- Sólo estén alineados en ciertas condiciones de operación

Algunos de los orígenes del cambio de las condiciones de alineamiento son los siguientes:

- Falla en acoples.
- Errores de alineamiento.
- Pérdida de rigidez de apoyos, cimentaciones y anclajes.
- Pérdida de rigidez y desgaste de chumaceras.
- Patrones de expansión y contracción de carcasas y tuberías no repetitivas.

Por lo general, los errores en los acoples se deben a defectos de fabricación y los de alineamiento a montajes o ensamblado incorrecto.

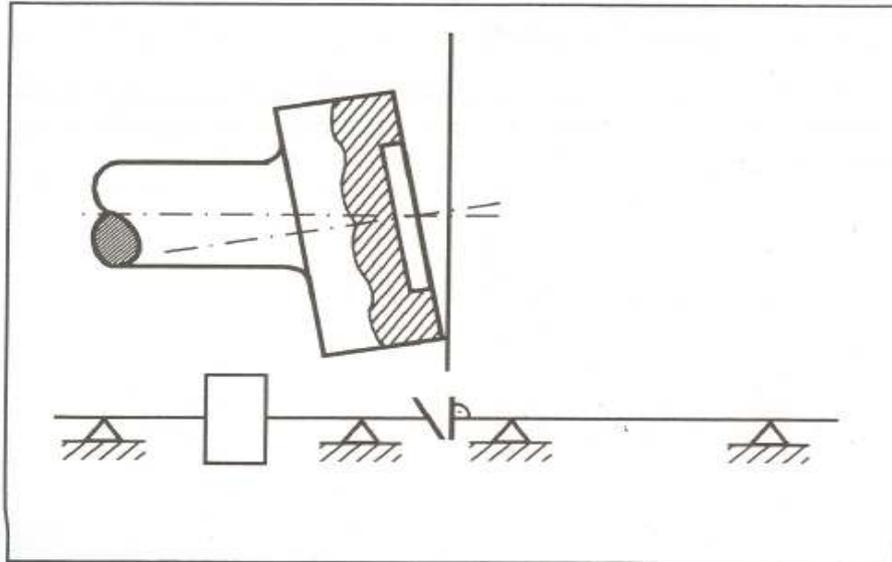
1.4.2.1. Errores en acoples

En los acoples se pueden presentar tres tipos de fallas o errores, estos se presentan a continuación:

1.4.2.1.1 Errores de faceado

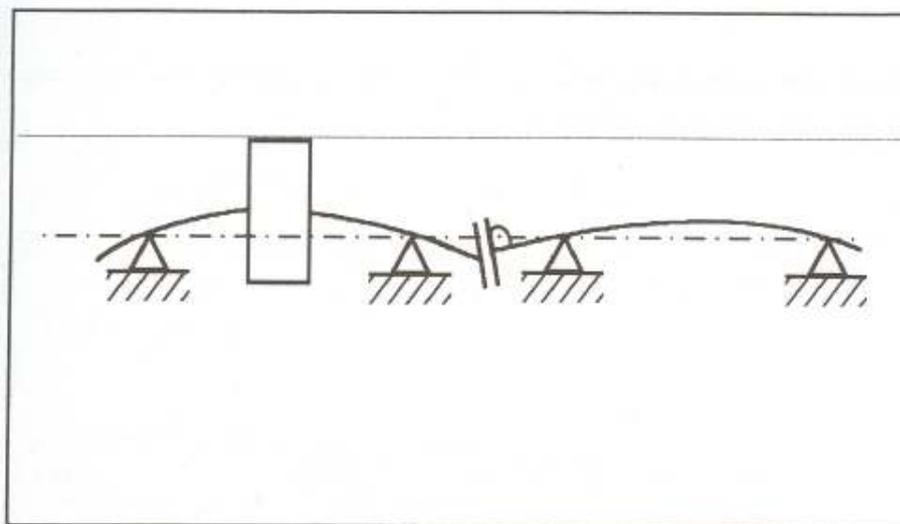
Estamos en presencia de un error de faceado cuando aún estando alineados los ejes entre sí, las superficies de las caras del acople no están paralelas entre sí, por ejemplo: por no estar perpendiculares al eje de giro común a ambos ejes. Esquemáticamente se presenta en la figura 10.

Figura 10. Errores de faceado



Cuando se une un acople con defectos de faceado, se imponen esfuerzos a los ejes conectados que deforman su eje de giro, dando como resultado un comportamiento como el mostrado en la figura 11, en el cual el eje está arqueado.

Figura 11. Eje arqueado por error de faceado

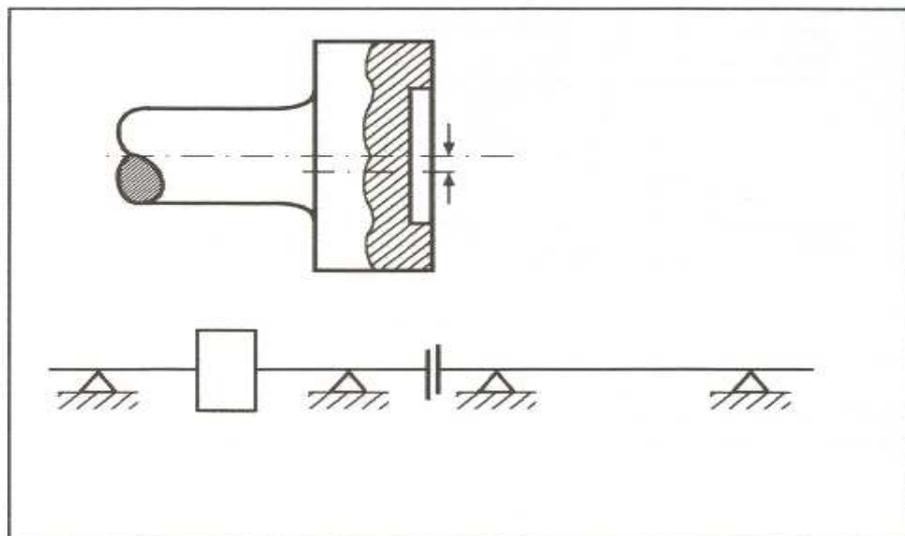


El error de faceado en ambas caras de acoplamiento puede ser verificado usando un comparador antes de hacer la unión del acople.

1.4.2.1.2 Error de centrado

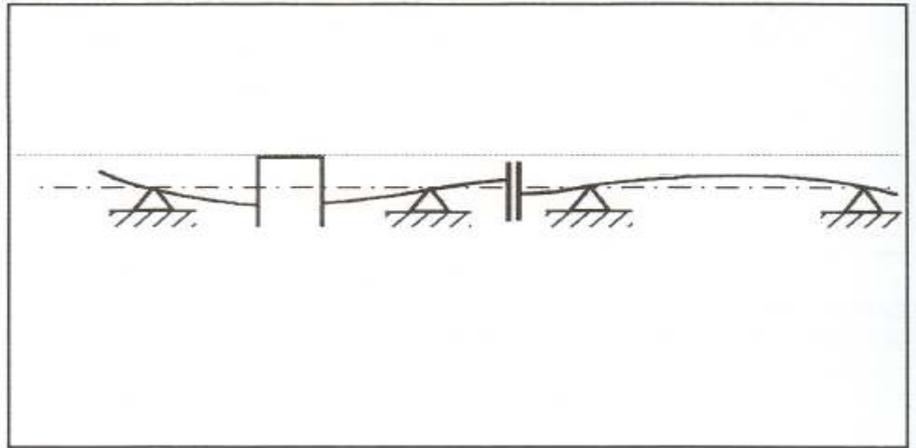
Cuando ocurre un error de centrado, el centro de los ejes y los centros de las mitades de los acoples están separados radialmente entre sí, aún cuando los ejes estén alineados. En la figura 12 se muestra el desplazamiento de centros.

Figura 12. Error de centrado



En este caso, también se imponen fuerzas cuando los ejes son unidos solidariamente, y los ejes giran deformados, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Eje arqueado por error de centrado

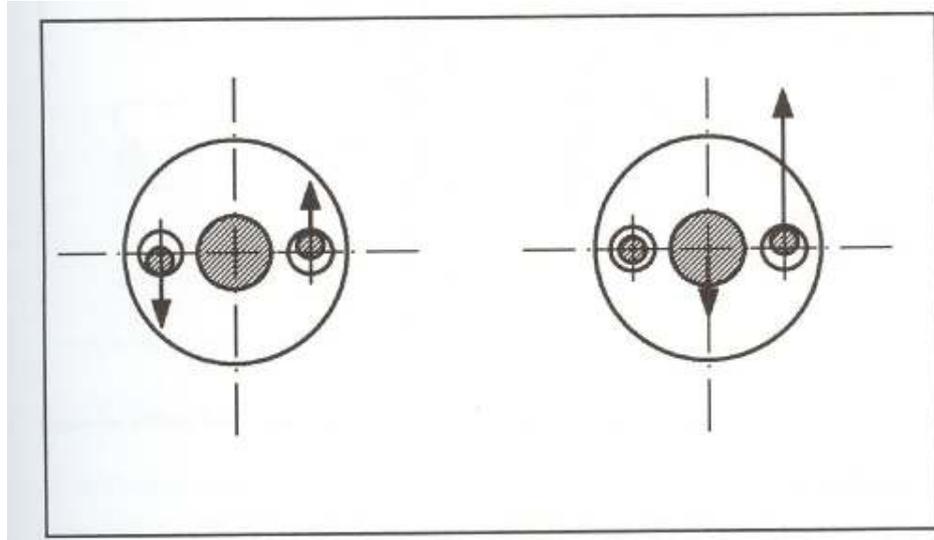


En forma similar al error de faceado, el error de centrado de un acople puede ser determinado con un comparador.

1.4.1.1.3 Error de paso unión

Si todos los dientes, pernos o segmentos de un acople no trasladan el mismo par como resultado de un error en el paso, el eje de mando resulta cargado con una fuerza transversal. Esa fuerza transversal es proporcional al par transferido por el acople. En la figura 14 se muestra un acople de dos pernos sin error a la izquierda y uno con error a la derecha, nótese la fuerza de reacción en el eje en el segundo caso.

Figura 14. Error de paso unión



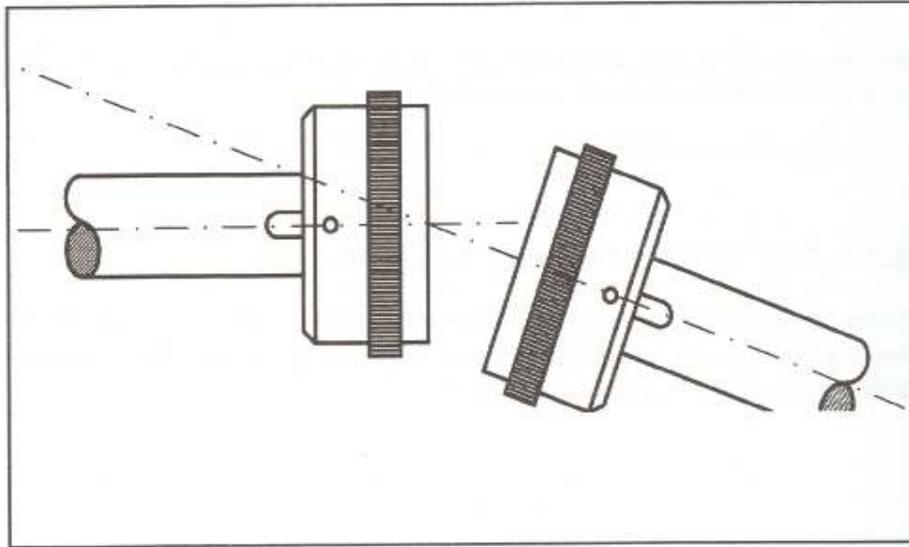
Todos los errores de acople, sean de faceado, centrado o paso de unión, excitan vibraciones a la frecuencia de giro en el eje de las maquinas y en los cojinetes durante su rotación.

1.4.2.2. Errores de alineación

Si no hay errores en los acoples, pero los ejes no están posicionados correctamente, estamos en presencia de un error de alineación. Los tres tipos básicos de falta de alineamiento en el acoplamiento son: angular, paralelo y una combinación de ambos.

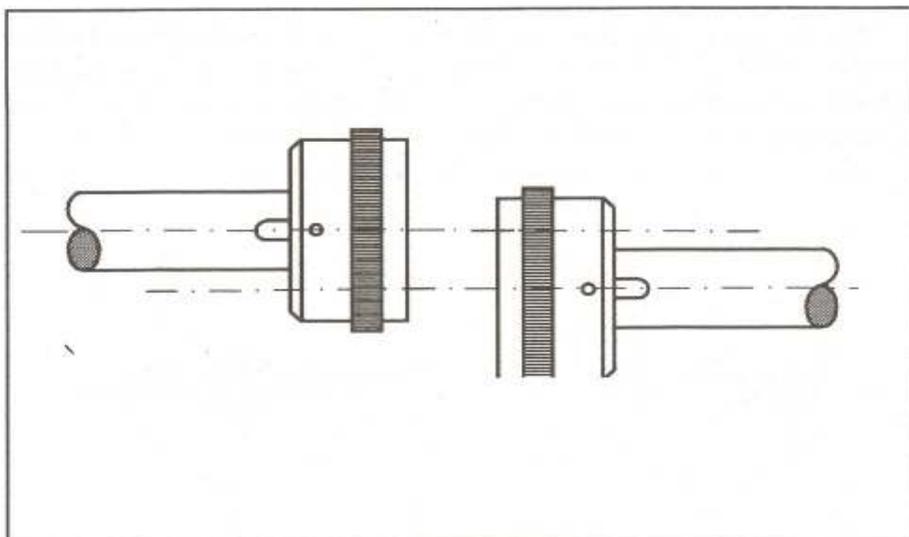
Una falta de alineamiento angular como la mostrada en la figura 15, sujeta principalmente los ejes de las maquinas accionadoras y accionadas a vibración axial con una frecuencia de vibración igual a la velocidad de rotación (rpm) del eje.

Figura 15. Falta de alineamiento angular



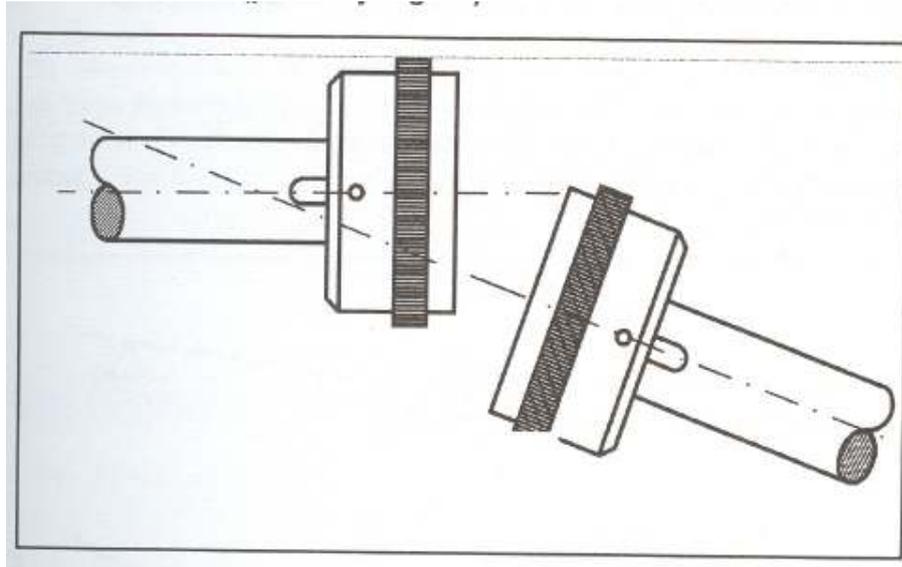
La falta de alineamiento en paralelo, como el mostrado en la figura 16, produce principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje.

Figura 16. Falta de alineamiento paralelo



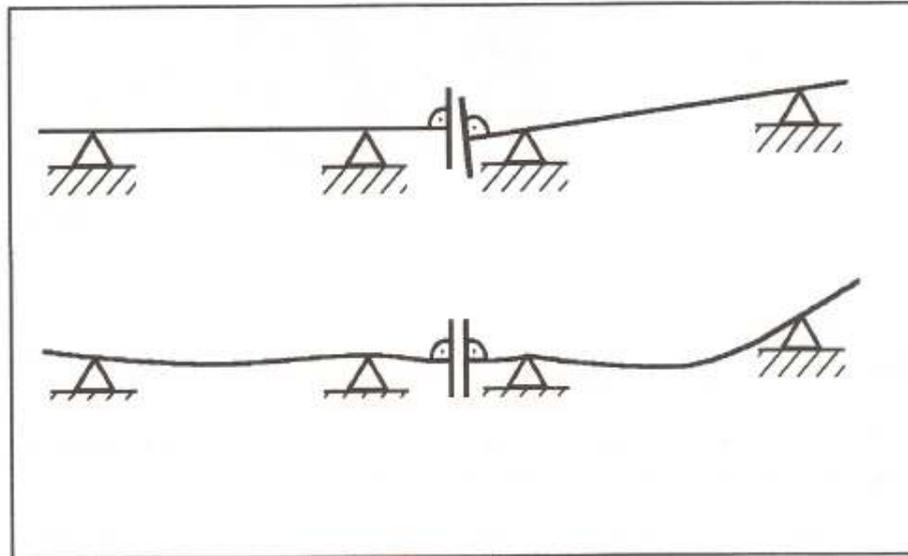
En la figura 17 se muestra una combinación de falta de alineamiento angular y paralelo, que es lo que comúnmente se encuentra en las máquinas.

Figura 17. Falta de alineamiento combinado



Cuando existe un error de alineamiento las mitades del acople no pueden ser solidarizadas sin imponerles fuerzas y deformar (flexar) la línea de centro de los ejes, como se muestra en la figura 18. Como resultado, los ejes de máquinas giran en torno a un eje de rotación deformado pero no rotante, lo que lleva al rotor a flexar durante el giro.

Figura 18. Comportamiento de ejes por falta de alineamiento



En la práctica, sin embargo, no hay rotores ideales, y no hay errores puros de alineamiento. Lo que se presenta es siempre una mezcla de varios errores de alineamiento y de acoplamiento, junto a errores de desequilibrio, daños en los rodamientos, etc. Por lo tanto, siempre se encontrarán vibraciones presentes en las máquinas rotativas.

1.4.3 Cojinetes o rodamientos defectuosos

La vibración de rodamientos se produce debido a defectos en las pistas, en las bolas ó en los rodillos de los rodamientos, estas ocasionan vibraciones de alta frecuencia; la vibración de rodamientos de bolas o rodillos se producen en frecuencias características que son fácilmente identificables, y que son función directa de sus dimensiones, de su frecuencia de giro y del número de elementos rodantes. La amplitud de la vibración dependerá de la gravedad de la falla del rodamiento.

A través de la vibración característica de un rodamiento y las variaciones que estas presentan por el proceso de deterioro del rodamiento, es posible determinar con toda oportunidad el inicio de una falla y planear de esa manera la sustitución de un rodamiento en un momento óptimo que es anterior a la falla del mismo y posterior al agotamiento de su vida útil.

La vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la máquina. Por lo tanto el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración.

1.4.4 Chumaceras defectuosas

Elevados niveles de vibración ocasionados por chumaceras defectuosas son generalmente el resultado de una holgura excesiva (causados por desgaste debido a una acción de barrido o erosión química), aflojamientos mecánicos (metal blanco suelto en el alojamiento), o problemas de lubricación.

En el caso de la holgura excesiva hace que un defecto relativamente de menor importancia, tal como un leve desbalance o una pequeña falta de alineamiento, u otra fuente de fuerzas vibratorias, se transforme como resultado en aflojamientos mecánicos o golpes repetidos, en tales casos la chumacera en si no es la que crea la vibración; pero la amplitud de la vibración seria menor si la holgura fuera la correcta.

Los problemas de lubricación, ocurre solamente en maquinas equipadas con chumaceras lubricadas a presión, y que funcionan a velocidades relativamente altas. La vibración debida a torbellinos de aceite a menudo es muy elevada, pero se reconoce fácilmente por su frecuencia fuera de lo común. Dicha frecuencia es apenas menor a la mitad de la velocidad de rotación.

Los problemas de torbellino de aceite normalmente se atribuyen a diseño incorrecto de la chumacera, desgaste excesivo, un aumento de la presión de aceite o un cambio de viscosidad del aceite.

1.4.5 Problemas de engranes

Los trenes de engranajes usados para transmitir potencia y cambios de velocidad pueden llegar a ser fuentes de fuertes vibraciones y ruido ambiental. La vibración que resulta de problemas de engranaje es de fácil identificación, porque normalmente ocurre a una frecuencia igual a la frecuencia de engrane de los engranajes, es decir, la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las rpm del engranaje que falla.

Problemas comunes de los engranajes, que tienen como resultado vibraciones a la frecuencia de engrane, comprenden el desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallas de alineación, fallas de lubricación y materias extrañas atrapadas entre los dientes.

1.4.6 Problemas eléctricos

La vibración debida a problemas eléctricos, normalmente es el resultado de fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Dichas fuerzas desiguales pueden ser debidas a:

- rotor que no es redondo
- chumaceras del inducido que son excéntricas
- falta de alineación entre el rotor y el estator
- perforación elíptica del estator
- devanados abiertos o en corto circuito
- hierro del rotor en corto circuito

En general, la frecuencia de vibración resultante de los problemas de índole eléctrico será 1 X rpm, y por lo tanto se parecerá a un desbalance. Una manera sencilla de hacer la prueba para verificar la presencia eventual de vibración eléctrica es observar el cambio de amplitud de la vibración en el instante en que se desconecta la corriente de esa unidad. Si la vibración desaparece en el mismo instante en que se desconecta la corriente, el problema con toda posibilidad será eléctrico. Si solo decrece gradualmente, el problema será de naturaleza mecánica.

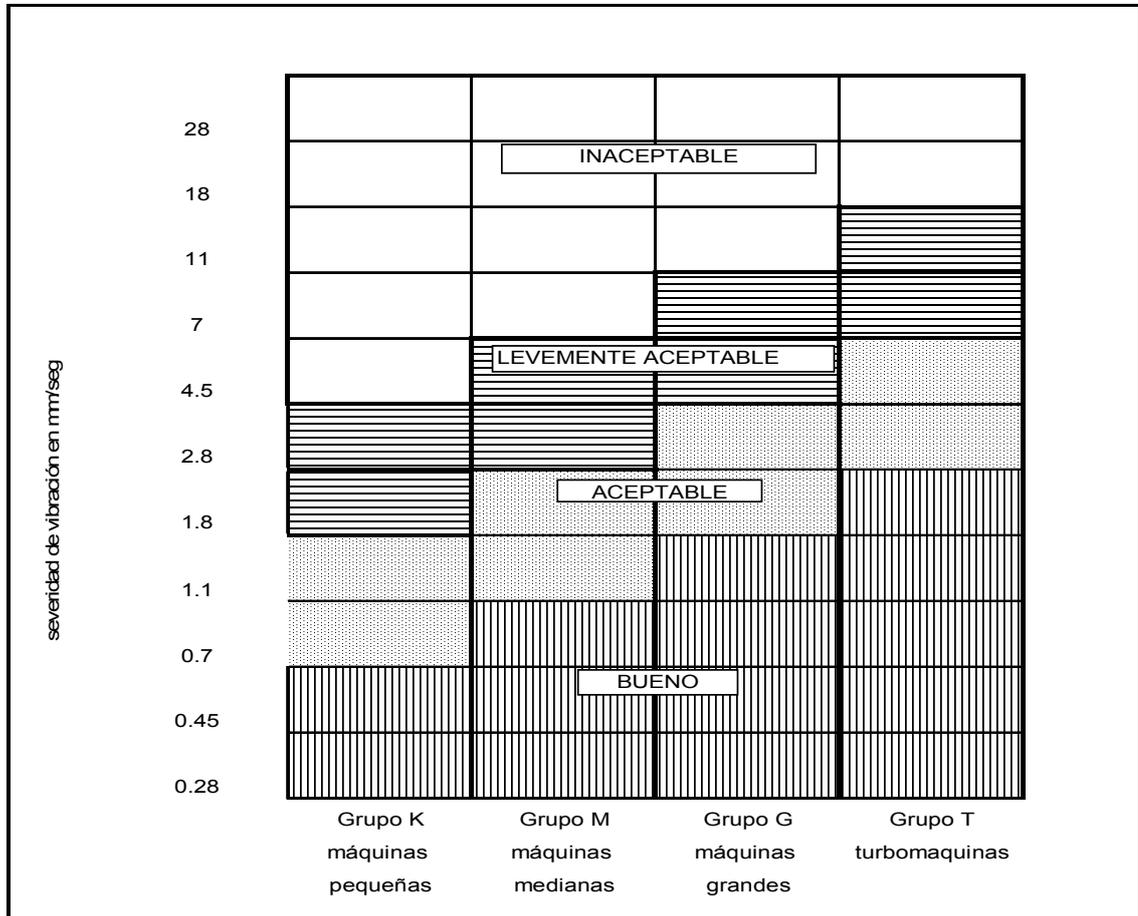
1.5 Severidad de las vibraciones

El valor mas difícil de determinar es el valor de intervención de una máquina, ya que se refiere al momento exacto en que se debe intervenir la máquina, Debido a que al tomar una medición sólo se conoce el nivel de vibración en ese instante y no se tiene un historial del nivel inicial en adelante, no se puede determinar con precisión el limite de intervención de la misma.

En relación a la necesidad de evaluar el estado de las máquinas en función de su nivel de vibración, es que se han creado varias normas, con el fin de dar una orientación sobre cuando una máquina se encuentra en buenas condiciones, dentro de niveles considerados aceptables, (representan, por lo tanto, solo una guía). Entre otras encontramos las siguientes: VDI 2056, ISO 2372, BS 4675 y las normas de algunos fabricantes de equipos de medición.

Una de las normas más utilizadas es la VDI 2056, mostrada en la figura 19, la que se basa en el nivel de velocidad de la vibración como magnitud decisiva; en esta norma se clasifica la intensidad de la vibración de las vibraciones armónicas y mezclas de vibraciones. Cuatro curvas a escala bi-logarítmicas para máquinas medianas y pequeñas fabricadas en serie, para máquinas grandes sobre fundamentos pesados y para turbo-máquinas sobre fundamentos livianos muy afinados, demuestran las respectivas exigencias adoptadas según la escala de evaluación.

Figura 19. Norma VDI 2056 (ISO 2372)



Grupo K (VDI 2056) ó I (ISO 2372)
Máquinas pequeñas con motor de hasta 15 KW

Grupo M (VDI 2056) ó II (ISO 2372)
Máquinas medianas con motor de 15 KW a 75 KW

Grupo G (VDI 2056) ó III (ISO 2372)
Máquinas grandes en fundaciones rígidas y pesadas

Grupo T (VDI 2056) ó IV (ISO 2372)
Máquinas grandes montadas en fundaciones elásticas, tales como turbomaquinas

1.6 Balanceo de equipo rotativo

El producto de excentricidades del centro de gravedad en rotores es una fuerza centrífuga que producirá sobrecargas y vibraciones en la máquina. La eliminación de estas perturbaciones dinámicas se llama balanceo o equilibrado del rotor.

El construir un rotor perfectamente balanceado exigiría tolerancias imposibles de alcanzar. Por tal motivo, se deja un margen de desbalance tolerable el que está determinado por la norma ISO 1940. Antes de todo, es importante tener claros algunos conceptos:

- Desbalance residual permisible: A mayor masa m del rotor, mayor desbalance permisible U . Para generalizar, se emplea el desbalance específico e :

$$e = U / m$$

Donde e corresponde a la excentricidad del centro de gravedad del rotor.

Para rotores del mismo tipo se ha encontrado que el desbalance residual específico varía en relación inversa con la velocidad de rotación manteniendo el producto $e \times \omega$ constante.

- Calidad de balanceo: Basado en lo anterior, se ha establecido grados de calidad de balanceo que permite una clasificación de los requisitos de calidad. Cada grado de calidad de balanceo G comprende un rango de desbalances residuales admisibles desde un límite superior dado por una cierta magnitud del producto $e \times \omega$ hasta el límite inferior cero. De esta forma se define:

$$G = e \times \omega$$

Nota: $\omega = (2 \pi n) / 60$, si n es medido en rpm.

La norma ISO 1940 ha establecido, entre otros, los siguientes grados de calidad para determinadas situaciones:

Tabla II. Norma ISO 1940

Grado de calidad G (mm/s)	Tipo de rotor
G4000	Cigüeñales de motores diesel marinos lentos con número impar de cilindros montados rígidamente
G1600	Cigüeñales de motores grandes de dos ciclos montados rígidamente
G630	Cigüeñales de motores grandes de cuatro ciclos rígidamente montados
G250	Cigüeñales de motores diesel rápidos de cuatro cilindros montados rígidamente
G100	Cigüeñales de motores diesel rápidos con seis o más cilindros. motores completos diesel o a gasolina para autos
G40	Ruedas de autos, volantes. Cigüeñales para motores de autos, camiones y locomotoras
G16	Ejes de dirección (ejes de propulsión, ejes cardan), con requerimientos especiales
G6.3	Partes de máquinas de planta de procesos. Engranajes, bombas, ventiladores
G2.5	Turbinas de vapor y gas y rotores de turbomáquinas en general.
G0.4	Ejes, discos y rotores de rectificadores de precisión.

- Técnicas de corrección de desbalance: El desbalance D se define como una excentricidad de una masa m , de esta forma:

$$D = e x m$$

Se mide en unidades masa-longitud. Las técnicas de corrección están orientadas a determinar dos cosas:

1. Estado de desbalance original
2. Vectores de desbalance de corrección

Hay dos métodos disponibles para el equilibrado de preciso de rotores:

1. equilibrar el rotor separado en una máquina equilibradora instalada
2. equilibrar los rotores en su estado operativo, ensamblados.

Ambos métodos tienen su campo específico de aplicación, Las máquinas de equilibrar son la alternativa más económica para el equilibrado en fabricación o en ciertos trabajos de mantenimiento de taller.

El equilibrado operativo (también denominado Equilibrado en Sitio) proporciona un método eficiente para facilidades de ensayo, el mantenimiento de planta y para afinar e equilibrado de máquinas una vez que están totalmente ensamblados.

Algunas de las importantes ventajas de esta técnica son:

- La no necesidad de desmontar la máquina ni transportar el rotor a una máquina de equilibrar (ahorro de tiempo y costos)
- Menor inversión de capital (costo del instrumento portátil)

- Pueden medirse (y compensarse) las variaciones impuestas por la operación por ejemplo: cambios térmicos, desequilibrio inducido por el ensamblado, etc.
- Usando el mismo instrumento pueden equilibrarse rotores de cualquier tamaño, peso y dimensiones.

Para evaluar el estado de desbalance en un rotor cualquiera, se deberá introducir un desbalance intencional o de prueba. La recomendación para dimensionar la masa de prueba para balancear es que esta masa no empeore la situación actual del rotor, es decir que la fuerza adicional sobre los descansos sea tal que no produzca deterioro por sobrecarga en la máquina. De esta forma se tiene:

$$m_p = 4463 \times 10^3 \times (m / en^2)$$

Donde:

m = masa del rotor, en kg.

e = radio, en mm.

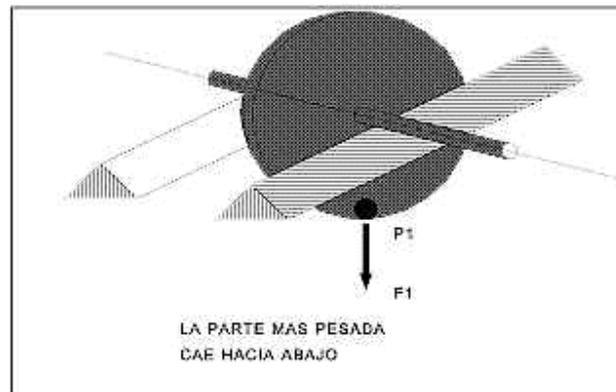
n = velocidad de giro, en rpm.

m_p = masa de prueba, en g.

1.6.1 Balanceo estático

Como regla este procedimiento de equilibrado es suficiente para rotores que no presentan cabeceo alguno. En los casos más simples el desequilibrio estático puede ser determinado sobre filo de cuchillas o apoyo con rodamientos de poco ancho, como se muestra en la figura 20, para determinar el punto mas pesado por la gravedad.

Figura 20. Balanceo estático



Este tipo de desequilibrio se corrige en un único plano radial del rotor, y tan cerca del plano del centro de gravedad como sea posible. De allí que se denomine al procedimiento equilibrado en un plano.

Este método de balanceo consiste en agregar una masa apropiada que cancele o disminuya a un valor aceptable, el desbalance original. La determinación de la masa y su lugar de ubicación se puede efectuar por prueba y error, o algebraicamente.

El equilibrado en un plano se aplica, especialmente con máquinas armadas, a rotores discoidales como:

- Sopladores, ventiladores y separadores de aire
- Ruedas amoladoras, mandriles
- Poleas, volantes, embragues
- Engranajes
- Impulsores

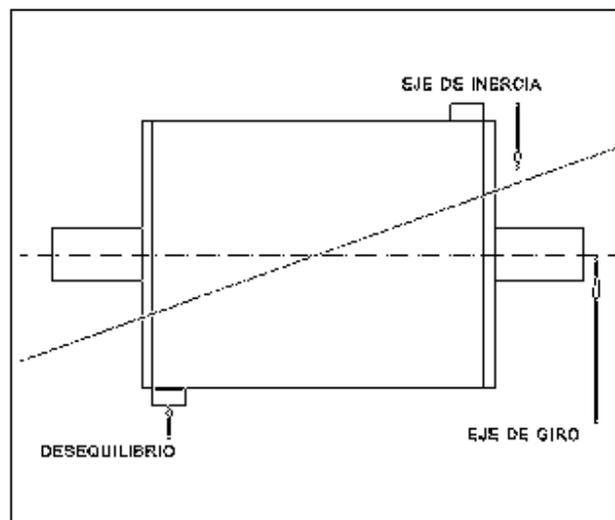
La práctica demuestra que si un rotor tiene una anchura inferior a una tercera parte de su diámetro y esta anchura no supera los 100 mm., el equilibrado estático o en un solo plano es suficiente, no obstante debemos recordar que un equilibrado en dos planos o dinámico es mas costoso pero es definitivo. También se utiliza el equilibrado estático en piezas sin solidificar como pueden ser las muelas abrasivas antes de pasar por el horno.

1.6.2 Balanceo dinámico

El balanceo dinámico o en dos planos es definido en la Norma ISO 1925 como: El procedimiento por el que se corrige la distribución de masa de un rotor rígido, para asegurar que el desequilibrio residual resulte dentro de límites especificados.

Debemos tener presente que un rotor que está equilibrado estáticamente, figura 21, puede tener un desequilibrio dinámico muy grande y por tanto provocar vibraciones.

Figura 21. Balanceo dinámico



Como regla, el equilibrado en dos planos es necesario para todos los rotores rígidos con masas distribuidas axialmente y los rotores discoidales en que el equilibrado en un plano no logra las tolerancias especificadas.

Ejemplo típico de rotores que deben ser equilibrados en dos planos son:

- Cilindros de máquinas papeleras
- Tambores de centrifugas y rotores de decantadoras
- Rotores de motores y generadores eléctricos
- Rotores de cortadoras y trituradoras
- Ventiladores con masas distribuidas axialmente
- Rotores de compresores

Podemos decir, que un equilibrado estático no siempre es suficiente para un rotor y que el mayor número de ocasiones debemos equilibrar dinámicamente.

2 PLAN DE MONITOREO

2.1 Equipos a evaluar

Durante la reparación del año 1999, se efectuó un monitoreo de vibración de equipos en varios ingenios, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla III. Monitoreo de vibraciones año 1999

EQUIPO	CANTIDAD	CON PROBLEMA	SIN PROBLEMA
Ventiladores	59	41	18
Picadoras de caña	23	7	16
centrifugas	38	17	21
TOTAL	120	65	55

Estos datos muestran que más del 50% de los equipos monitoreados, presentaron problemas de vibración, en los cuales fue necesario determinar la causa y corregirla. En base a lo anterior se opta por efectuar un monitoreo programado a esos equipos para ver la importancia de conocer el comportamientos de los mismos durante su operación y de esta manera poder anticiparnos a problemas mayores, determinando si es necesaria la intervención de los mismo antes de periodos de mantenimientos normales o poder extender los mismos con el consiguiente ahorro de materiales y mano de obra sin comprometer el funcionamiento del ingenio.

La evaluación de los equipos se realizó en tres ocasiones en el transcurso de la zafra, siendo estas en la siguiente programación:

- Primera evaluación quince días después de iniciada la zafra, esta nos permite conocer el comportamiento del equipo después de iniciada la operación.
- Segunda evaluación a media zafra, nos permite conocer las condiciones del equipo y dar seguimiento a condiciones que se presentaron en la primera evaluación.
- Tercera evaluación quince días antes de la finalización de la zafra, esta nos permite analizar en conjunto con las otras dos evaluaciones anteriores el comportamiento que mantuvo el equipo durante el transcurso de la zafra y poder definir las acciones a tomar durante el periodo de reparación (no zafra), para optimizar los recursos y solo intervenir los equipos que en realidad necesiten una revisión más minuciosa.

2.2 Descripción de los equipos a evaluar

2.2.1 Picadoras de caña

Las picadoras de caña o cuchillas picadoras son un equipo indispensable en todo ingenio azucarero, ya que con la caña entera nos es posible alimentar regularmente un molino. El trabajo de las cuchillas convierte a las cañas enteras en un material formado por pedazos cortos y pequeños que forman una masa compacta que cae fácilmente en el chute de alimentación del primer molino, permitiéndole absorberla de una forma continua.

Las cuchillas picadoras, entonces, ejecutan dos funciones y tienen dos ventajas:

- Favorecer la capacidad de los molinos transformando la caña en una masa compacta y homogénea.
- Mejorar la extracción de los molinos rompiendo la corteza de la caña y facilitando así su desintegración y la extracción del jugo.

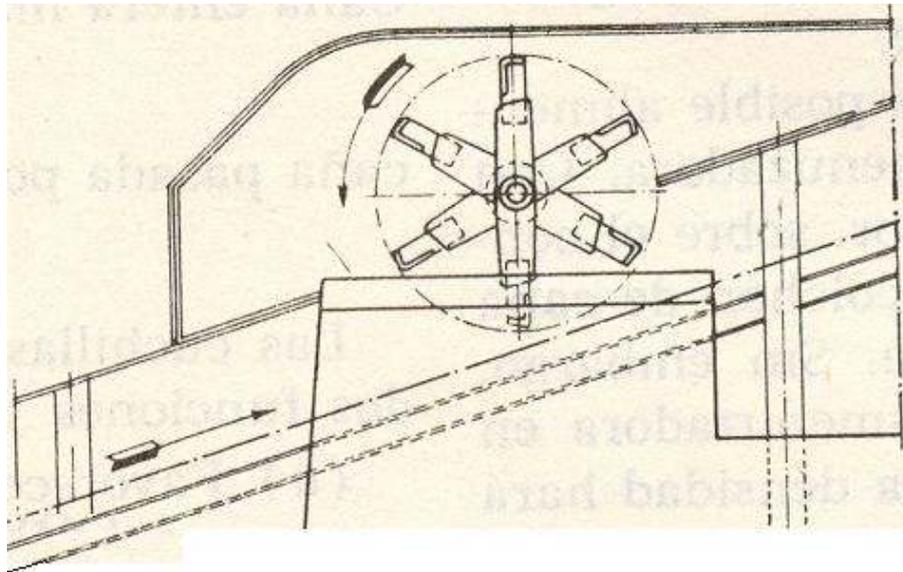
Un tipo clásico de cuchilla picadora se muestra en la figura 22, el cual consiste en un eje pesado montado sobre rodamientos de rodillos esféricos y en el cual están fijos varios brazos cada uno de los cuales lleva dos hojas colocadas simétricamente con relación al eje. El segundo brazo está desviado 60° con relación al primero; el tercero, 60° con relación al segundo y así sucesivamente. De esta manera si el eje tiene 27 brazos, habrá 54 hojas distribuidas en filas de 9 en 6 diferentes planos axiales.

Las hojas de las cuchillas son removibles, de manera que pueden reemplazarse fácilmente. Las cuchillas se instalan sobre el conductor de caña (figura 23), de manera que la extremidad de las hojas quede separada de las tablillas una distancia denominada ajuste.

Figura 22. Cuchilla picadora de caña



Figura 23. Instalación cuchilla picadora



Las cuchillas picadoras giran entre 400 a 800 RPM y son accionadas por medio de motores eléctricos o turbinas de vapor.

2.2.2 Centrifugas continuas

La función de las centrifugas es la separación de los granos de azúcar de la miel en las masas cocidas que se bajan de los tachos. A esta operación se le conoce como centrifugado, purgado ó centrifugación.

La centrífuga consiste en una canasta cónica, la cual esta montada en un eje vertical que le sirve de soporte (como se muestra en la figura 24). La canasta está perforada con numerosos orificios que permiten el paso de la miel y está cubierta con una malla de metal que retiene el azúcar y permite el paso de las mieles. El azúcar descarga sobre el borde de la canasta. La figura 25 muestra la instalación de una centrífuga.

Figura 24. Esquema centrifuga continua

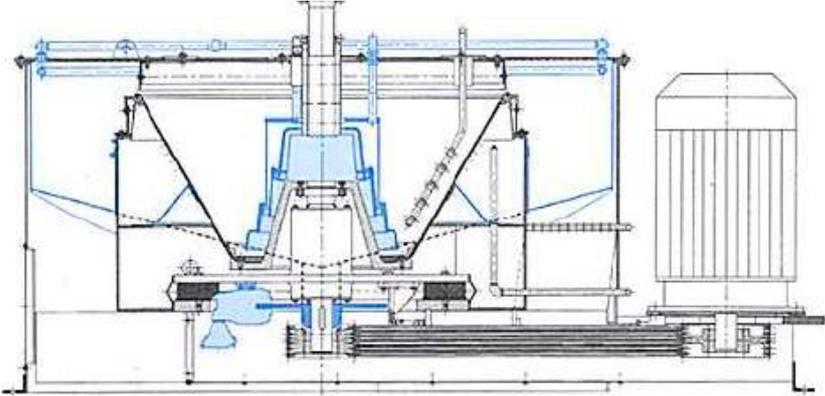


Figura 25. Instalación centrifuga continua



2.2.3 Ventiladores

Es cualquier aparato o equipo que produce una corriente de aire o gas, dentro de la industria azucarera son aplicados ampliamente los ventiladores con un impulsor rotativo y una carcasa estacionaria para guiar el flujo de entrada y de salida del impulsor.

Algunas de las aplicaciones de ventiladores dentro de la industria azucarera son:

- Ventiladores de tiro inducido de calderas
- Ventiladores de tiro forzado de calderas
- Ventiladores de tiro inducido de secadora de azúcar
- Ventiladores de bagacillo

En algunas de las aplicaciones anteriores, los ventiladores están manejando flujos que contienen gran cantidad de partículas (arena, bagazo, polvillo de azúcar) que provocan desgaste o acumulaciones en las paletas del ventilador. La figura 26 muestra la instalación de un ventilador de tiro forzado de una caldera.

Figura 26. Instalación ventilador de tiro forzado



2.3 Formatos para recolección de información

Para la recolección de la información en campo se deben utilizar formatos prácticos, los cuales permitan recolectar la información fácilmente y a la vez nos proporcionen la información necesaria para el análisis de la situación de la maquina que estamos evaluando. La tabla III muestra un formato para recolección de información en campo.

Estos deben contener la siguiente información:

- Identificación de la empresa
- Fecha de realización de la evaluación
- No. Correlativo del formato

- Datos de identificación del equipo y sus características
- Nombre de la persona que efectuó la evaluación
- Esquema del equipo evaluado en el cual se muestren los puntos donde se efectúan las mediciones.
- Tabla de tabulación de la información recolectada
- Observaciones

Figura 27. Formato para recolección de información

ANALISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACIÓN DE DATOS

No. _____

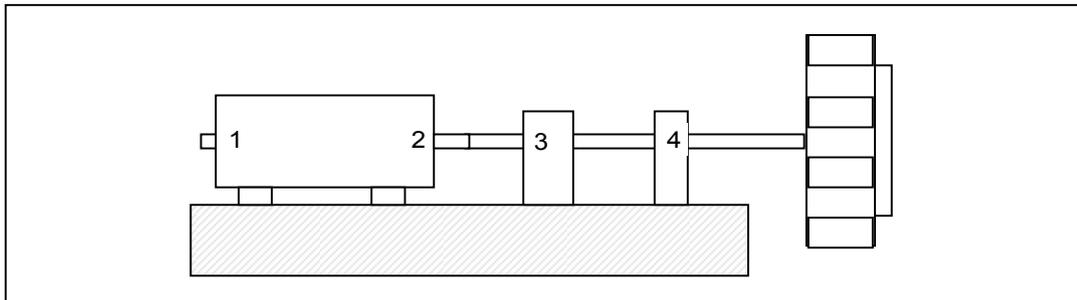
INGENIO: _____

FECHA: _____

MAQUINA: _____

HP / KW : _____ ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H				
	V				
	A				
2	H				
	V				
	A				
3	H				
	V				
	A				
4	H				
	V				
	A				
5	H				
	V				
	A				
6	H				
	V				
	A				
7	H				
	V				
	A				
8	H				
	V				
	A				

OBSERVACIONES: _____

3. EVALUACIÓN DE CAMPO

3.1 Evaluación de ventiladores

Figura 28. Formato para recolección de información

ventiladores primera medición

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACIÓN DE DATOS

No. 1-1-2002

INGENIO: Tierra Buena

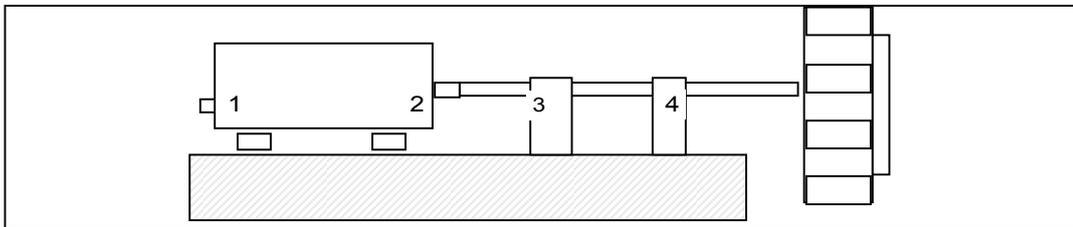
FECHA: 08/12/2001

MAQUINA: Ventilador tiro inducido secadora

HP / KW : 40 Hp

ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			4.191	1750
	V			8.075	1750
	A				
2	H			3.858	1750
	V			3.285	1750
	A			5.201	1750
3	H			4.348	1750
	V			6.897	1750
	A			5.846	1750
4	H			5.499	1750
	V			5.71	1750
	A				
5	H				
	V				
	A				
6	H				
	V				
	A				
7	H				
	V				
	A				
8	H				
	V				
	A				

OBSERVACIONES: conjunto desalineado y falta de rigidez de la estructura

Figura 29. Formato para recolección de información

ventiladores segunda medición

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACION DE DATOS

No. 1-2-2002

INGENIO: Tierra Buena

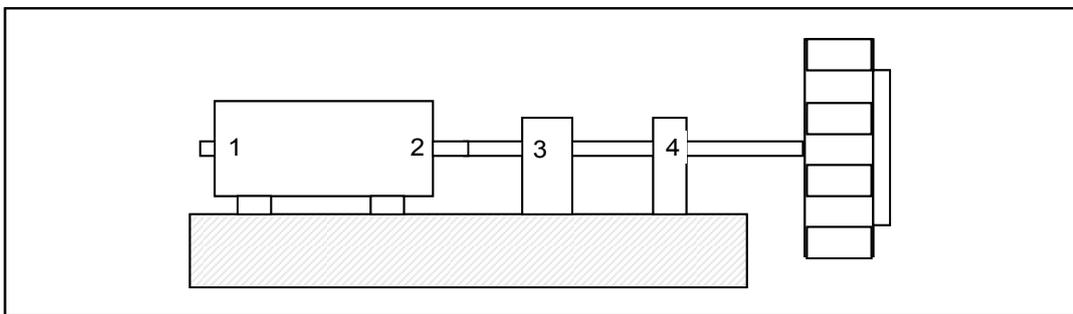
FECHA: 06/02/2002

MAQUINA: Ventilador tiro inducido secadora

HP / KW : 40 Hp

ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			19.7	1750
	V			15.14	1750
	A				
2	H			21.77	1750
	V			10.07	1750
	A			8.874	1750
3	H			13.38	1750
	V			26.09	1750
	A			13.28	1750
4	H			27.03	1750
	V			14.38	1750
	A				
5	H				
	V				
	A				
6	H				
	V				
	A				
7	H				
	V				
	A				
8	H				
	V				
	A				

OBSERVACIONES: ventilador desbalanceado, verificar incrustaciones en las aspas

Figura 30. Formato para recolección de información

ventiladores tercera medición

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACIÓN DE DATOS

No. 1-3-2002

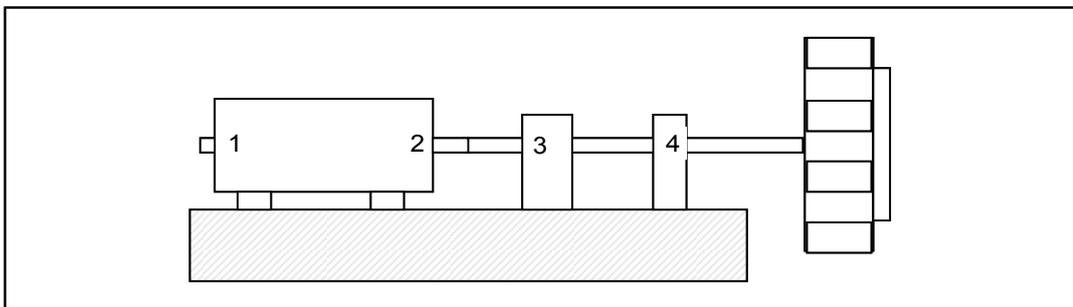
INGENIO: Tierra Buena

FECHA: 07/03/2002

MAQUINA: Ventilador tiro inducido secadora

HP / KW : 40 Hp ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR PUNTO	POS	DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
		mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			6.851	1750
	V			8.114	1750
	A				
2	H			6.497	1750
	V			6.665	1750
	A			6.965	1750
3	H			7.593	1750
	V			11.420	1750
	A			12.060	1750
4	H			12.630	1750
	V			10.830	1750
	A				
5	H				
	V				
	A				
6	H				
	V				
	A				
7	H				
	V				
	A				
8	H				
	V				
	A				

OBSERVACIONES: ventilador desbalanceado, verificar incrustaciones en las aspas y verificar alineamiento del conjunto.

3.2 Evaluación de picadoras de caña

**Figura 31. Formato para recolección de información
picadoras de caña primera medición**

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACIÓN DE DATOS

No. 2-1-2002

INGENIO: Tierra Buena

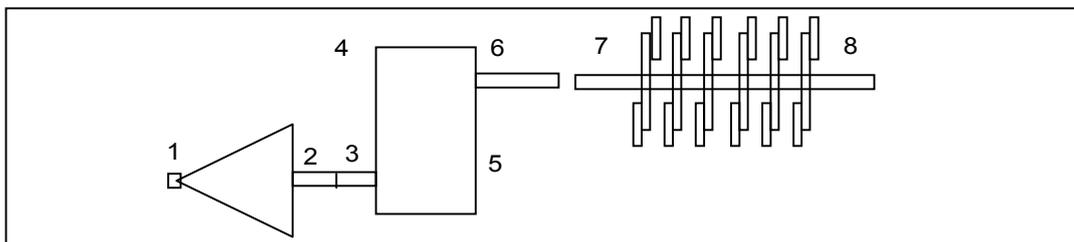
FECHA: 08/12/2001

MÁQUINA: Picadora de caña no. 2

HP / KW : 800 Hp

ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			3.627	4500
	V			9.324	4500
	A				
2	H			4.038	4500
	V			4.508	4500
	A			4.989	4500
3	H			4.247	4500
	V			5.499	4500
	A			2.178	4500
4	H			4.812	700
	V			4.56	700
	A				
5	H			4.678	4500
	V			2.533	4500
	A				
6	H			4.472	700
	V			1.808	700
	A			8.133	700
7	H			4.181	700
	V			1.78	700
	A			1.758	700
8	H			2.323	700
	V			0.977	700
	A				

OBSERVACIONES: verificar alineamiento del conjunto.

**Figura 32. Formato para recolección de información
picadoras de caña segunda medición**

ANALISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACIÓN DE DATOS

No. 2-2-2002

INGENIO: Tierra Buena

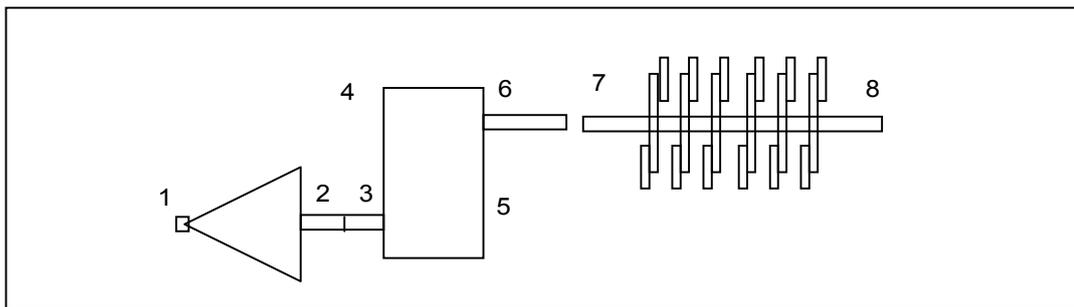
FECHA: 06/02/2002

MAQUINA: Picadora de caña no. 2

HP / KW : 800 Hp

ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			4.181	4500
	V			3.009	4500
	A				
2	H			2.232	4500
	V			1.514	4500
	A			1.378	4500
3	H			2.869	4500
	V			4.153	4500
	A			3.081	4500
4	H			2.699	700
	V			2.618	700
	A				
5	H			2.518	4500
	V			2.297	4500
	A				
6	H			3.224	700
	V			1.999	700
	A			2.785	700
7	H			3.539	700
	V			1.624	700
	A			2.331	700
8	H			2.587	700
	V			1.029	700
	A				

OBSERVACIONES: _____

**Figura 33. Formato para recolección de información
picadoras de caña tercera medición**

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACION DE DATOS

No. 2-3-2002

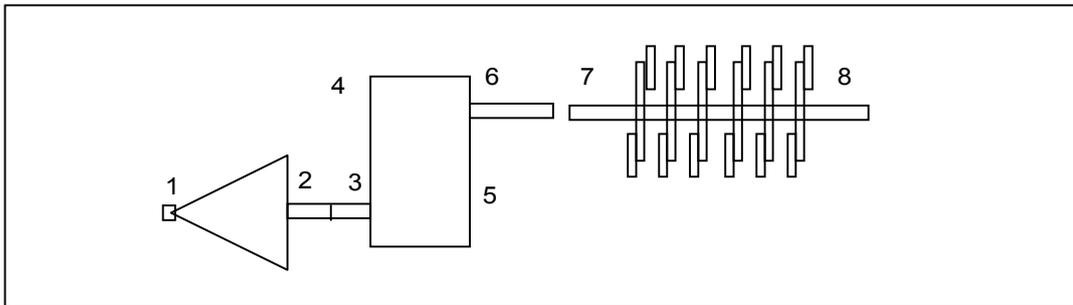
INGENIO: Tierra Buena

FECHA: 07/03/2002

MÁQUINA: Picadora de caña no. 2

HP / KW : 800 Hp ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			2.348	4500
	V			3.309	4500
	A				
2	H			2.024	4500
	V			1.316	4500
	A			2.196	4500
3	H			4.008	4500
	V			3.236	4500
	A			3.297	4500
4	H			3.958	700
	V			2.463	700
	A				
5	H			3.144	4500
	V			2.633	4500
	A				
6	H			2.67	700
	V			2.16	700
	A			4.134	700
7	H			2.721	700
	V			1.919	700
	A			2.109	700
8	H			1.747	700
	V			1.105	700
	A				

OBSERVACIONES: _____

3.3 Evaluación de centrifugas continuas

Figura 34. Formato para recolección de información centrifugas continuas primera medición

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACION DE DATOS

No. 3-1-2002

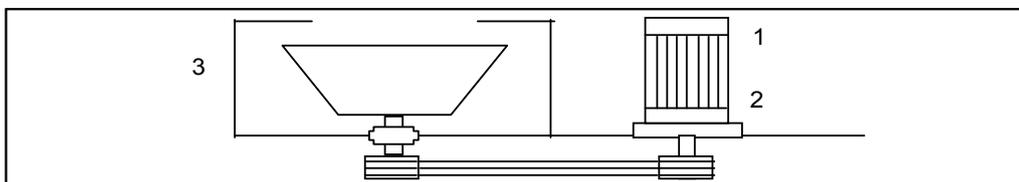
INGENIO: Tierra Buena

FECHA: 08/12/2001

MAQUINA: Centrifuga continua no. 3 de 3ra.

HP / KW : 50 Hp ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			10.59	1750
	V			10.38	1750
	A				
2	H			3.627	1750
	V			3.332	1750
	A				
3	H			2.51	1400
	V				
	A				
4	H				
	V				
	A				
5	H				
	V				
	A				
6	H				
	V				
	A				
7	H				
	V				
	A				
8	H				
	V				
	A				

OBSERVACIONES: ventilador del motor presenta desbalance,
verificar presencia de incrustaciones en el ventilador.

Figura 35. Formato para recolección de información centrifugas continuas segunda medición

ANALISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACION DE DATOS

No. 3-2-2002

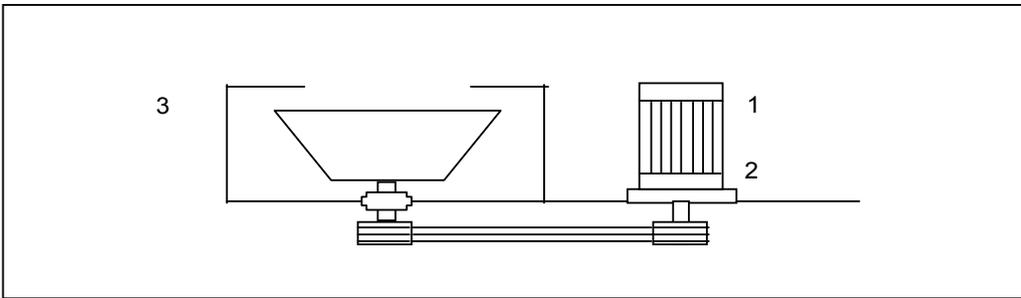
INGENIO: Tierra Buena

FECHA: 06/02/2002

MAQUINA: Centrifuga continua no. 3 de 3ra.

HP / KW : 50 Hp ROTACIÓN: _____

EFFECTUADA POR: _____



SENSOR		DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
PUNTO	POS	mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			17.53	1750
	V			14.24	1750
	A				
2	H			5.029	1750
	V			4.115	1750
	A				
3	H			2.6	1400
	V				
	A				
4	H				
	V				
	A				
5	H				
	V				
	A				
6	H				
	V				
	A				
7	H				
	V				
	A				
8	H				
	V				
	A				

OBSERVACIONES: ventilador del motor presenta desbalance, verificar presencia de incrustaciones en el ventilador.

Figura 36. Formato para recolección de información centrifugas continuas tercera medición

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

HOJA DE TABULACION DE DATOS

No. 3-3-2002

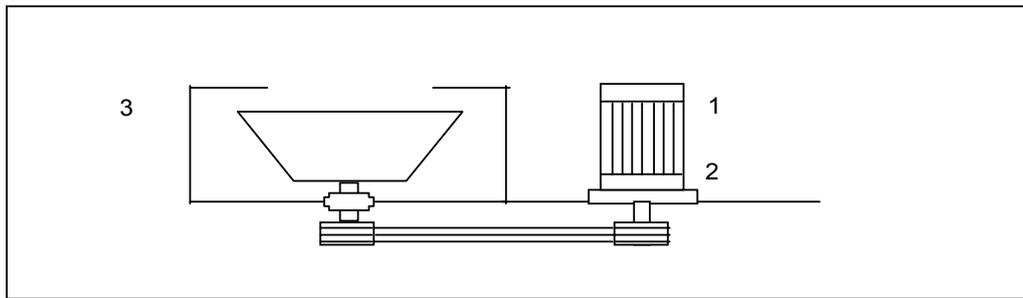
INGENIO: Tierra Buena

FECHA: 07/03/2002

MAQUINA: Centrifuga continua no. 3 de 3ra.

HP / KW : 50 Hp ROTACIÓN: _____

EFECTUADA POR: _____



SENSOR PUNTO	POS	DESPLAZAMIENTO		VELOCIDAD	
		mm	CPM	mm/seg	CPM
1	H			13.79	1750
	V			11.36	1750
	A				
2	H			4.877	1750
	V			3.448	1750
	A				
3	H			2.65	1400
	V				
	A				
4	H				
	V				
	A				
5	H				
	V				
	A				
6	H				
	V				
	A				
7	H				
	V				
	A				
8	H				
	V				
	A				

OBSERVACIONES: ventilador del motro presenta desbalance, verificar presencia de incrustaciones en el ventilador.

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Discusión evaluación de ventiladores

4.1.1 Primera medición ventiladores

Basandonos en la Norma VDI 2056 (página 38), clasificamos este equipo como una maquina perteneciente al grupo M (15 a 75 kW), al observar los valores obtenidos podemos notar que en general se encuentran en un rango levemente aceptable, lo cual da lugar a programar un mantenimiento en la semana siguiente, sin embargo, el punto 1V sobrepasa este rango los que nos indica que debemos tomar una medida inmediata para no poner en riesgo el equipo y la operación de la planta.

Observando las mediciones verticales y axiales obtenidas en los puntos 2 y 3, podemos notar que los valores son altos en ambos sentidos lo que nos da una clara indicación de una falta de alineación del conjunto y falta de rigidez en la estructura.

4.1.2 Segunda medición ventiladores

Según la Norma VDI 2056 los valores obtenidos en esta medición se encuentra en el rango inaceptable lo que nos indica que debemos tomar una acción inmediata para no poner en riesgo el equipo y la operación de la planta.

Observando las mediciones vemos que los valores radiales son elevados principalmente en la posición horizontal de los puntos 3 y 4 lo cual nos da una indicación que el ventilador se encuentra desbalanceado.

Al efectuar una inspección al área donde está instalado el equipo y su función dentro del proceso de producción, se observa que la función del mismo es hacer circular aire a través de la secadora de azúcar, el cual arrastra polvillo de azúcar, el cual podría depositarse sobre las aspas del ventilador.

4.1.3 Tercera medición

Según la Norma VDI 2056 los valores obtenidos en esta medición se encuentran en el rango inaceptable lo que nos indica que debemos tomar una acción inmediata para no poner en riesgo el equipo y la operación de la planta.

Observando las mediciones vemos que los valores radiales son elevados principalmente en la posición horizontal de los puntos 3 y 4 lo cual nos da una indicación que el ventilador se encuentra desbalanceado, además la presencia de vibraciones axiales (puntos 2A y 3A) elevadas respecto a los valores de las vibraciones radiales nos indican que debemos revisar el alineamiento del conjunto.

Al efectuar una inspección al área donde está instalado el equipo y su función dentro del proceso de producción, se observa que la función del mismo es hacer circular aire a través de la secadora de azúcar, el cual arrastra polvillo de azúcar, el cual podría depositarse sobre las aspas del ventilador.

4.2 Discusión evaluación de picadoras de caña

4.2.1 Primera medición picadoras de caña

Basándonos en la Norma VDI 2056 (página 38), clasificamos este equipo como una maquina perteneciente al grupo G, al observar los valores podemos notar que en general se encuentran en un rango levemente aceptable y aceptable, lo cual daría lugar a programar un mantenimiento en la semana siguiente.

Observando los valores de las mediciones de los puntos 2A y 6A podemos notar la presencia de valores axiales elevados respecto a los valores radiales los cual nos indica que debemos revisar el alineamiento del conjunto.

Al efectuar la inspección del área se observa que el equipo esta accionado por una turbina de vapor, la cual está conectada por tuberías de vapor, las cuales están sometidas a expansiones y contracciones que pueden provocar desalineamiento en los equipos sin no se toman las consideraciones necesarias en su instalación.

4.2.2 Segunda medición

Según la Norma VDI 2056 los valores obtenidos en esta medición se encuentra en el rango aceptable, se debe seguir con el monitoreo normal del equipo.

4.2.3 Tercera medición

Según la Norma VDI 2056 los valores obtenidos en esta medición se encuentra en el rango aceptable, se debe seguir con el monitoreo normal del equipo.

4.3 Discusión evaluación de centrífugas continuas

4.3.1 Primera medición centrífugas continuas

Basándonos en la Norma VDI 2056 (pagina 38), clasificamos este equipo como una maquina perteneciente al grupo M (15 a 75 kW), al observar los valores obtenidos podemos notar que se encuentran en un rango inaceptable, lo cual nos indica que debemos tomar una medida inmediata para no poner en riesgo el equipo y la operación de la planta.

Observando los valores de las mediciones el punto 1 notamos que el motor presenta desbalance en la parte superior, lo cual puede nos indica que debemos revisar el ventilador de enfriamiento del motor, ya que puede tener incrustaciones en la aspas del mismo.

De acuerdo a la inspección del área podemos notar que la centrifuga se encuentra expuesta a derrames de masas de los mezcladores que se encuentra en la parte superior de la estación de centrífugas y además en el ambiente se encuentra polvillo de azúcar en suspensión el que podría depositarse sobre las aspas del ventilador de enfriamiento del motor.

4.3.2 Segunda medición centrifugas continuas

Según la Norma VDI 2056 los valores obtenidos en esta medición se encuentra en el rango inaceptable, lo cual nos indica que debemos tomar una medida inmediata para no poner en riesgo el equipo y la operación de la planta.

Observando los valores de las mediciones el punto 1 notamos que el motor presenta desbalance en la parte superior, lo cual puede nos indica que debemos revisar el ventilador de enfriamiento del motor, ya que puede tener incrustaciones en la aspas del mismo.

4.3.3 Tercera medición centrífugas continuas

Según la Norma VDI 2056 los valores obtenidos en esta medición se encuentra en el rango inaceptable, lo cual indica que debemos tomar una medida inmediata para no poner en riesgo el equipo y la operación de la planta.

Observando los valores de las mediciones el punto 1 notamos que el motor presenta desbalance en la parte superior, lo cual nos indica que debemos revisar el ventilador de enfriamiento del motor, ya que puede tener incrustaciones en la aspas del mismo.

CONCLUSIONES

1. Todas las máquinas vibran, producto de cargas que se generan en ellas. La mayoría de éstas tienen niveles de vibración que permanecen bajos y constantes, pero es conveniente verificar periódicamente en el tiempo, porque pueden generar problemas de fatiga.
2. Al efectuar medición es importante conocer las características de los equipos que se evaluarán y su forma de operar.
3. Es fundamental llevar un registro de las mediciones efectuadas a los equipos, para tener elementos de comparación que nos permitan detectar la progresión de un deterioro.
4. En los ventiladores de tiro inducido de secadoras uno de los problemas principales que se presentan es la acumulación de polvillo de azúcar sobre las aspas, lo cual provoca un desbalance en el ventilador.
5. En las picadoras de caña y equipos accionados por turbinas de vapor, la expansión y contracción de las tuberías de vapor provocan desalineamientos si no se toman las precauciones necesarias.
6. En centrifugas continuas los motores por lo general están expuestos a derrames de masas de los recibidores y mezcladores que se encuentran en los niveles superiores del edificio y polvillo de azúcar, lo cual se acumula en las aspas de los ventiladores de enfriamiento de los motores, provocando desbalance de los mismo.

RECOMENDACIONES

1. Elaborar un programa de evaluación de los equipos críticos en la operación del ingenio, para poder tomar acciones correctivas o preventivas según el análisis de la información obtenidas en estas evaluaciones.
2. La persona encargada de efectuar las evaluaciones de equipos y de interpretar la información, debe conocer las características de los equipos a evaluar y sus condiciones de operación, conversar con los operarios de los equipos para obtener información completa que servirá para alcanzar mejores resultados.
3. Elaborar una base de datos, que permita llevar un registro de las mediciones efectuadas a los equipos, para tener elementos de comparación que nos permitan detectar la progresión de un deterioro y crear curvas particulares de comportamiento de cada equipo.
4. Elaborar un programa de limpieza del ventilador de tiro inducido de secadora para evitar la acumulación de polvillo de azúcar sobre las aspas, y así evitar el desbalance del mismo.
5. Revisar la estructura de soporte del ventilador de tiro inducido de la secadora, y reforzarla adecuadamente, para obtener más rigidez en la misma.
6. Al alinear equipos accionados por turbinas de vapor considerar las variaciones que se presentaran al variar la temperatura y efectuar un chequeo cuando el equipo alcanza sus condiciones de operación.

7. Colocar sobre los motores de las centrifugas cubiertas para evitar que caigan productos sobre ellos y elaborar un programa de limpieza de los mismos.
8. Se debe llevar un control de temperaturas y análisis de aceites, como complemento al análisis de vibraciones, para tener elementos que ayuden a predecir de mejor forma las acciones de mantenimiento de cada equipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cereno, Carlos. **Análisis de vibraciones. Segundo seminario de turbo maquinaria para la industria azucarera centroamericana.** México 1986
2. Hugot, E. **Manual para ingenieros azucareros.** 7ª Impresión. México, editorial Continental. 1984
3. George P. Meade. **Spencer – Meade Manual del azúcar de caña.** 9ª edición. España, editorial Montaner y Simón, 1967
4. Piefer, Norbert. **Diagnóstico de máquinas, equilibrado en sitio, alineamiento de ejes.** USA, Schenck Trebel Corp. 1995