



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE  
CONDICIONES EN EQUIPOS ROTATIVOS PARA GARANTIZAR LA  
PRODUCTIVIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA**

**Sergio Jonathan Aguilar Carranza**

Asesorado por el Ing. Luis Alberto Velásquez Aguilar

Guatemala, agosto de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE  
CONDICIONES EN EQUIPOS ROTATIVOS PARA GARANTIZAR LA  
PRODUCTIVIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SERGIO JONATHAN AGUILAR CARRANZA**  
ASESORADO POR EL ING. LUIS ALBERTO VELÁSQUEZ AGUILAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

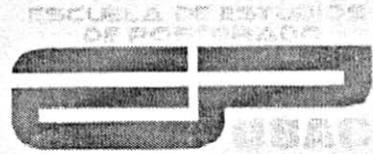
### **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE CONDICIONES EN EQUIPOS ROTATIVOS PARA GARANTIZAR LA PRODUCTIVIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha marzo de 2013.

**Sergio Jonathan Aguilar Carranza**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000 Ext. 86226

**AGS-MGIPP-030-2015**

Guatemala, 18 de julio de 2016.

Director  
Juan José Peralta Dardón  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Sergio Jonathan Aguilar Carranza** carné número **2010-20161**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría de Gestión Industrial.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

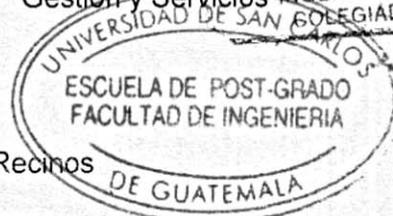
MSc. Ing. Luis Alberto Velásquez Aguilar

Luis Alberto Velásquez Ag  
Asesor (a)  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 7353

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola

Coordinadora de Área  
Gestión y Servicios  
ALBA MARITZA GUERRERO DE LOPEZ  
INGENIERA INDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA No. 4611

MSc. Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



REF.DIR.EMI.130.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE CONDICIONES EN EQUIPOS ROTATIVOS PARA GARANTIZAR LA PRODUCTIVIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Jonathan Aguilar Carranza**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Juan José Peralta Dardón  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2016.



/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

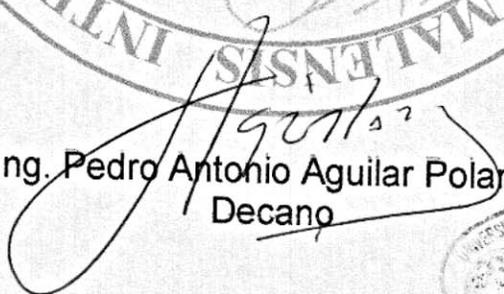


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.367-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE CONDICIONES EN EQUIPOS ROTATIVOS PARA GARANTIZAR LA PRODUCTIVIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Jonathan Aguilar Carranza**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, agosto de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por brindarme la sabiduría, inteligencia y los medios para lograr esta meta, por ello la gloria y la honra es solo para Él.
- Mi madre** Emma Susana Aguilar Carranza, por su apoyo incondicional durante toda mi vida.
- Mis abuelos** Alicia Carranza de Sarceño y Carlos Humberto Sarceño Méndez, porque siempre han estado pendientes de mis metas, y han sido partícipes de mis logros.
- Mis hermanas** Mildred Alicia y Jaqueline Yazmín Paz Aguilar, por su apoyo, paciencia en las dificultades y por ese vínculo que nos une como hermanos.
- Mis amigos** Por el apoyo durante los diferentes ciclos de mi vida como estudiante ya que ellos también tienen méritos en esta meta alcanzada.



**Mis educadores**

A todos los profesionales que me impartieron clases, compartiéndome sus conocimientos y experiencias de forma desinteresada y generosa.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa casa de estudios.

**Facultad de Ingeniería**

Por egresarme como profesional de esta gloriosa Facultad.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Descripción del problema .....	9
3.2. Formulación del problema .....	10
3.3. Delimitación .....	11
3.4. Viabilidad .....	11
3.5. Consecuencias .....	12
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCION.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Generación de energía .....	19
7.1.1. Diferencia entre generación y cogeneración .....	19
7.1.2. Generación de energía con biomasa y carbón .....	20
7.1.2.1. ¿qué es biomasa? .....	20
7.1.2.2. Generación de energía con biomasa ...	21

	7.1.2.3.	Generación de energía con carbón .....	22
	7.1.2.4.	Medidas para controlar riesgos ambientales por generación de energía con carbón .....	22
7.2.		Productividad .....	25
	7.2.1.	Tipos de índices de productividad .....	26
		7.2.1.1. Productividad Parcial.....	26
		7.2.1.2. Productividad Total De Factores .....	26
		7.2.1.3. Productividad Bruta .....	26
		7.2.1.4. Productividad Neta .....	27
	7.2.2.	Importancia de mantener la productividad en generadoras de energía .....	27
		7.2.2.1. Medición de productividad en generación de energía .....	27
7.3.		Equipos rotativos críticos de operación en planta generadora.....	28
	7.3.1.	Ventiladores tiro forzado (FD FAN) .....	28
	7.3.2.	Ventiladores aire secundario (SA FAN).....	29
	7.3.3.	Ventiladores de tiro inducido (ID FAN) .....	30
	7.3.4.	Sistema alimentación de combustible .....	30
	7.3.5.	Sistema de alimentación de agua .....	33
7.4.		Monitoreo de condiciones en equipos críticos.....	33
	7.4.1.	Mantenimiento Predictivo .....	33
		7.4.1.1. Principales objetivos de mantenimiento predictivo.....	34
		7.4.1.2. Ventajas del mantenimiento predictivo .....	34
	7.4.2.	Monitoreo del aceite lubricante.....	35
	7.4.3.	Monitoreo de vibraciones .....	36

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	37
9.	METODOLOGÍA.....	41
9.1.	Tipo de estudio .....	41
9.2.	Diseño de la investigación .....	41
9.3.	Variables e indicadores .....	42
9.4.	Población y muestra .....	43
9.5.	Alcance.....	43
9.6.	Fase de metodología a aplicar .....	44
9.6.1.	Revisión documental .....	44
9.6.2.	Fase 1.....	44
9.6.3.	Fase 2.....	45
9.6.4.	Fase 3.....	45
9.6.5.	Fase 4.....	46
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	47
10.1.	Análisis de la información .....	47
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	51
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	53
12.1.1.	Recursos.....	55
12.1.2.	Financiamiento del proyecto .....	55
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
14.	ANEXOS .....	61



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Bagazo .....	21
2.	Carbón mineral.....	22
3.	Sistema de cenizas secas.....	23
4.	Precipitador electrostático (esp).....	24
5.	Silo de cenizas .....	24
6.	Reservorio de cenizas.....	25
7.	Cronograma detallado.....	51
8.	Cronograma general .....	52

### TABLAS

I.	Recursos .....	55
----	----------------	----



# 1. INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia que ha tomado la energía en las actividades diarias, a nivel doméstico como a nivel industrial, muchas empresas que realizan procesos agroindustriales han tomado la iniciativa de involucrarse en el mercado energético durante los años comprendidos entre 2009 al 2016, incluyeron el proceso de cogeneración de energía como un departamento en las empresas por lo que se ha hecho necesaria la adquisición de equipos especiales con mayor capacidad de generación, haciendo que la generación sea continua durante todo el año, por lo que se vuelve necesario llevar un adecuado control del funcionamiento y operación de los equipos que podrían causar que la generadora saliera de línea.

El problema que se pretende mitigar es evitar que se presente alguna falla o algún desperfecto en los equipos críticos afectando la productividad de energía.

La importancia de la solución se da en evitar que la planta generadora se vea afectada en términos de sanciones y degradaciones por no aportar la cantidad de energía pactada en contrato, por tales razones en la generadora para la cual se diseña el presente proyecto se obtuvo un equipo para realizar análisis de vibraciones bajo la cual se basara el análisis de condiciones en los equipos claves en el proceso de generación de energía.

Los resultados que se esperan obtener son tipos de fallas y tendencias de condiciones normales de trabajo de los equipos rotativos críticos para garantizar

la productividad de energía en la planta que se realizara el diseño de investigación.

Los nuevos conocimientos que se obtendrán son las condiciones de operación de los equipos críticos para identificar de una manera más sencilla cuando se presente alguna falla y la criticidad de las fallas que se pueden llegar a dar en los equipos rotativos para determinar si es de alto grado de riesgo o si se puede esperar a que se presente la falla.

El aporte principal del diseño de investigación será garantizar la productividad en la planta generadora.

Los principales beneficios esperados van en base a la reducción de costos por tiempos perdidos, mantenimientos no programados y evitar que se den penalizaciones y degradaciones en la capacidad instalada de la planta generadora, además hay que resaltar el hecho que Guatemala es el mayor exportador de energía de la región, debido a que la capacidad instalada de generación es mayor que la demanda nacional.

Como parte de la metodología se trabajará en una investigación descriptiva, se debe identificar y monitorear los equipos claves sin los cuales la generación se vería afectada y darles seguimiento periódico obteniendo tendencias y estadísticas de operación para garantizar que la generación será continua.

En el capítulo uno se mencionara Conceptos Generales tales como generalidades, antecedentes, conceptos que serán de gran ayuda como el análisis de vibraciones, también se presentan conceptos de generación de energía en una planta térmica; en el capítulo dos se realiza un diagnóstico de

los equipos críticos para garantizar la productividad de generación de energía., los cuales producirían tiempos perdidos y disminución de la productividad; en el capítulo tres se realiza la presentación de resultados así como el análisis de condiciones de trabajo, posibles fallas que se puedan presentar a futuro y fallas que se presenten durante el periodo de obtención de datos; en el capítulo cuatro se presenta la discusión de resultados en donde se determinara la productividad mensual, tendencias de condiciones y rendimientos de los equipos analizados durante el periodo de análisis de condiciones, en el capítulo cinco se presenta una propuesta de un sistema de monitoreo de condiciones en donde se propone crear un plan de mantenimiento predictivo y un sistema de análisis de condiciones en base a los resultados obtenidos en el capítulo cuatro.



## 2. ANTECEDENTES

Ruiz (2012). En su estudio en su trabajo de graduación de especialización en gerencia de mantenimiento, en una planta petrolera obtuvo como resultado de la implementación de un mantenimiento predictivo que la disponibilidad mecánica aumento del 95% al 97%, se redujeron las pérdidas en la producción dando como resultado una mayor disponibilidad de los sistemas y generando una mayor productividad del producto crudo, debido a que se pudieron detectar fallas tempranas y se realizaron cambios en los mantenimientos ya que se redujeron los mantenimientos correctivos y se aumentaron los mantenimientos proactivos generando ahorros significativos.

Sosa (2008). Realizó un diseño y análisis de vibraciones aplicado a sistemas de generación eléctrica, esto en su trabajo de graduación de maestría en Ingeniería, en donde realizó un análisis y cálculos de algunos componentes mecánicos de equipos utilizados para la generación de energía a altas revoluciones, en donde presento casos de balanceo dinámico, alternativas en rodamientos, balanceos con equipos que cuentan con fajas utilizando como herramienta básica el análisis de vibraciones.

Emerson Process Management (2003). En su artículo Operaciones y Mantenimiento 101, se describe al mantenimiento predictivo como mejor comparado con el mantenimiento preventivo debido a que el monitoreo es periódico y con él se pueden detectar el surgimiento de fallas además de poderse predecir problemas potenciales y el mejor momento para aplicar el mantenimiento, lo cual está en línea con lo que se presenta en este proyecto debido a que con la detección temprana de fallas se podrá aumentar la

producción y planificar de mejor manera los mantenimientos correctivos que se requieran en los equipos críticos.

Aguilar (2012). En su análisis de cómo se genera la energía en Guatemala durante ese año evidencia que la generación de energía era proveniente principalmente de las fuentes primarias de energía como el bunker, el diésel, las hidroeléctricas, el vapor de agua y las plantas geotérmicas, el carbón mineral y la biomasa; siendo los derivados del petróleo y las hidroeléctricas las principales fuentes de generación y aun en la actualidad se sigue teniendo esta tendencia, con la diferencia que se ha dado un incremento en la generación con biomasa y carbón debido a que las agroindustrias están aumentando su capacidad de generación instalada.

Saldivia, Acevedo & Pérez (2013). Desarrollaron un plan de estrategias de mantenimiento predictivo para transformadores de potencia en una empresa eléctrica en donde se presenta el estudio de sus componentes principales, estadísticas de fallas y el modo de falla algunos componentes críticos, además se determina que en base al análisis de condiciones se puede tener un registro confiable del estado operativo de los equipos, lo cual se pretende realizar en este proyecto.

Lo que se espera determinar con este diseño de investigación es un sistema de análisis de condiciones con el cual iniciará un proceso en el que se llevaran tendencias y estadísticas de la operación regular de los equipos utilizados para la generación de energía, con lo que se podrá implementar la hibernación de equipos, el cual se realizaría como una práctica nueva de mantenimiento, el cual consiste en mantener los equipos con las condiciones con las que terminan de operar al momento de realizar el mantenimiento programado de todos los equipos y realizar únicamente tareas para mantener el

equipo en condiciones adecuadas sin tener que desarmar y hacer cambios en sus elementos.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se presentan fallas y desperfecto en los equipos críticos que afectan la productividad de energía

#### **3.1. Descripción del problema**

La planta generadora de energía cuenta con una capacidad instalada actual de generar 33MWh durante el periodo de generación con biomasa y 41,5MWh durante el periodo generación de energía con carbón, siendo disposición del Administrador de Mercado Mayorista (AMM) la cantidad de energía que debe ser suministrada a la red interconectada del país con base en la demanda del mismo, dado que si existen fallas en los equipos críticos se afecta la productividad de energía y es en ese momento en donde se pueden dar sanciones muy drásticas para la generadora, las cuales consisten en penalizar a la planta reduciendo la cantidad de energía con la cual es convocada reduciendo su capacidad instalada y dejando de contabilizar la energía que se suministra extra a la capacidad instalada actual.

Además se tienen como antecedentes en la planta que durante los periodos de cogeneración 2013-2014 y 2014-2015 se contaba con un cogeneración con un turbogenerador de menor capacidad con el cual se tuvo problemas en el diseño de una caja reductora de velocidad que conectaba la turbina con el generador, dicha falla estaba presente debido a un mal diseño del proveedor lo cual provocó muchas paradas y que la generación fuera inestable y que no se pudiera entregar a la venta más de 29 MWh, lo cual afectó directamente la productividad de la planta y causando que el Administrador de

Mercado Mayorista penalizara a la planta, reduciendo la capacidad instalada de 31.5MWh hasta llegar a 27WMh.

La planta generadora busca garantizar sus ingresos realizando contratos con empresas distribuidoras de energía en el país, donde se compromete a tener disponibilidad para generar cierta cantidad de energía, dicha cantidad es acordada según la capacidad generadora que tiene la planta y según el temporal estacional en el que se encuentran generando.

### **3.2. Formulación del problema**

Pregunta Central:

¿Qué sistema analítico en equipos rotativos se puede utilizar para garantizar la productividad de generación de energía?

Preguntas de Investigación:

- ¿Cuáles son las condiciones iniciales de operación y las posibles fallas que en los equipos rotativos críticos que causarían paros afectando la productividad de energía?
- ¿Cuáles son los equipos críticos de operación y como afectan los paros en los mismos la productividad de energía?
- ¿Cómo se pueden disminuir los costos por paros por producción generando baja productividad en la generadora?

### **3.3. Delimitación**

El diseño del sistema de análisis de condiciones se realizará en una empresa ubicada en la costa sur del país, donde se genera energía a base de carbón y se cogenera a base de biomasa según el temporal estacional del año, buscando alcanzar una producción de energía continua y con la menor cantidad de tiempos perdidos posibles; a desde el mes de Octubre del año 2015 se tiene un contrato para generar con un Turbogenerador de 46MW por lo que es en esté donde se diseñara el proyecto.

### **3.4. Viabilidad**

La generación de energía se ha convertido en una atractiva fuente de ingresos en las industrias nacionales y el mantener la productividad se convierte en la base para maximizar los ingresos en este tipo de industrias, es por esta razón que se busca diseñar un sistema de análisis de condiciones donde se podrá llevar una tendencia del comportamiento de los equipos y se podrán determinar fallas tempranas para poder realizar programas mantenimientos adecuados con los cuales no se penalizaría la capacidad de generación.

En la actualidad se cuenta con el equipo de análisis de vibraciones, por lo que se deberá crear la ruta de análisis y sacar la tendencia de las características de operación según sea el nivel de vibración recomendado por el fabricante, de no contar con ellos se recurre como segunda opción a las normas ISO en las cuales se deberán comparar con tablas de operación según la capacidad de los equipos, con el cual se puede determinar si un equipo puede seguir operando continuamente o determinar si es necesario programar un mantenimiento preventivo, por lo que se puede garantizar la productividad de la energía

### **3.5. Consecuencias**

Con el diseño de sistema de análisis de condiciones se buscará garantizar que no se vean afectados los ingresos de la empresa, esto ayudaría a que maximice sus utilidades y no se vea penalizada ni tenga que absorber costos innecesarios.

La continuidad de la productividad tendrá como resultado que la empresa aumente sus utilidades y que la red nacional sea abastecida con la cantidad de energía que es demandada por la red nacional, además si se implementa este sistema se tendría como ventaja el poder planificar paros programados para realizar los mantenimientos necesarios en los equipos críticos de operación en la generación de energía.

Si no se hace el diseño la empresa deberá cubrir costos elevados por fallas de equipos críticos, en donde se incluyen el costo del repuesto además si no se cuenta con el repuesto adecuado el tiempo que la planta generadora estará fuera de línea más elevado

Hay que mencionar también que tendrá que cubrir la generación que no se genera comprándola en el mercado con un costo mucho mayor al que se vende. Además hay que mencionar que la empresa no compra la energía que no genera estaría cayendo en penalizaciones y degradaciones por incumplimiento del contrato con el que se cuenta actualmente en la planta generadora.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación bajo la que se realizará el proyecto será la de “metodologías de la producción” de la Maestría en Gestión Industrial se espera que con los cursos de evaluación de proyectos, Metodología de la producción y Sistemas de producción se tenga un mejor enfoque para el diseño de investigación propuesto.

La necesidad de la investigación se da debido que se desea garantizar la productividad de energía, por lo que se diseñara un sistema de análisis y monitoreo de condiciones, dicho sistema es una herramienta innovadora en este tipo de industrias ya que por lo regular se tiende a contratar empresas externas para que realicen este tipo de diagnósticos, dichas empresas realizan un análisis superficial en equipos específicos en los cuales se tiene la sospecha que existe algún tipo de falla y es por esta razón que se busca que sea sometida a este análisis.

La importancia del diseño del sistema de análisis de condiciones se da debido que se realizará en los equipos claves, sin los cuales la generación de energía se vería detenida por lo que los costos para realizar el mantenimiento correctivo del mismo serían mayores que si se detectara la falla y se planificara adecuadamente el mantenimiento preventivo de la misma. Además la producción de energía sería detenida y los costos que absorbe la empresa por dejar de generar tendrían como consecuencia la falta de obtención de utilidades por la generación incluyendo los costos extras por infringir con la entrega de la cantidad de energía hasta sanciones por el incumplimiento de la cantidad de producción solicitada.

El interés y motivación del investigador en la elaboración del diseño de investigación, inicia desde el problema planteado hasta la eficacia que se tendrá en el tiempo de respuesta para la desarrollar una solución de estos problemas, esto para aportar a la empresa un valor agregado en el cumplimiento de sus objetivos como organización.

El principal beneficio que se obtendrá con el diseño y posteriormente la implementación del sistema de análisis de condiciones realizado en la empresa se podrán generar ahorros en la contratación de empresas externas que prestan el servicio para los equipos claves y además con este sistema de monitoreo se puede tener información acerca de los equipos pudiendo darles el seguimiento deseado que presenten sospechas de fallas, se pueden verificar las mediciones realizadas y realizar una ruta de inspección la cual se podría repetir periódicamente con la finalidad de garantizar que la productividad no se vea afectada y se reduzca la posibilidad de fallas en equipos críticos.

Los beneficiarios irán desde los directores con el mayor rendimiento de la empresa, la línea de gerencia y dueños de proceso también se verán beneficiados debido que podrán mantener monitoreada la operación de la planta teniendo la garantía que se encuentra bajo las condiciones normales de operación, además los mismos colaboradores de la organización tendrán mejor rendimiento debido a que se enfocaran en realizar las actividades programadas únicamente, la comunidad cercana debido a que no se verán afectados con los altos niveles de ruido que se dan debido a la descarga de vapor al ambiente cuando se dan emergencias que ameritan que la planta salga de línea, y por último se verán beneficiados los proveedores de repuestos ya que tendrán suficiente tiempo para ofrecer sus productos y no tendrán que andar apresurándose por causa de las emergencias.

## 5. OBJETIVOS

### **General**

Diseñar un sistema de analítico de condiciones en equipos críticos para garantizar la productividad de generación de energía

### **Específicos**

1. Determinar las condiciones iniciales de operación de las maquinarias rotativas y las posibles fallas que se podrían darse en las mismas que afectarían la productividad de energía.
2. Identificar los equipos críticos e identificar como afectan los paros en los mismos la productividad de energía.
3. Reducir los costos por tiempos perdidos debido a la falta de productividad.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCION**

Las necesidades laborales que se pretenden cubrir es disminuir el sobrecargo de horas de trabajo para los colaboradores de la empresa generadora a causa de emergencias, reducir al máximo los mantenimientos no programados, disminuir los costos de repuestos por compras de emergencia, garantizar la productividad de generación de energía.

En el contexto específico del problema se describe como la disminución de fallas y desperfecto en los equipos críticos que afectan la productividad de energía.

En el ámbito regional se pretende eliminar la contaminación auditiva que se da al momento que las purgas de vapor se tienen abiertas al ambiente debido a los paros no programados, esto se debe a que si los tiempos de mantenimiento son muy alargados se tiene la necesidad de parar todos los equipos hasta el momento que se termine el mantenimiento.

El esquema de la solución que se propone ensayar para la resolución del problema planteado es la propuesta de un sistema analítico de condiciones en equipos rotativos para garantizar la productividad de generación de energía en donde se trabajara en base a los siguientes pasos.

- Realización de un listado de equipos a analizar considerados críticos.
- Revisión de los equipos en sus condiciones iniciales.
- Verificación periódica de las condiciones de operación con tablas de operación.

- Detección de fallas tempranas.
- Realización de un plan de Mantenimiento Predictivo.
- Detección de Fallas.
- Realización de un plan de Mantenimiento Preventivo de acuerdo a los hallazgos.

Este planteamiento es innovador en la planta debido a que no se cuenta con él, en la industria nacional ya existen empresas que se dedican a llevar estos controles pero el servicio se encuentra limitado por las visitas que se hacen a las plantas, por lo que se considera que es una propuesta original.

La pertinencia y validez técnica de este proyecto con relación al marco de la práctica profesional de la maestría se apega a debido a que es un proyecto en donde se aplicaran los conocimientos adquiridos en los cursos de Ingeniería de la productividad, Tecnologías de la calidad, Evaluación de proyectos industriales.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Generación de energía**

En la búsqueda de garantizar la generación de energía en la planta es muy importante tener indicadores e índices y el de la productividad es uno de los principales debido a que se debe tener muy bien definido cuál es el rendimiento que se está teniendo de los insumos que se invierten para la misma.

#### **7.1.1. Diferencia entre generación y cogeneración**

Energiza (s.f.). Afirma: “cogeneración significa producción simultánea de dos o más tipos de energía. Normalmente las energías generadas son electricidad y calor, aunque puede ser también energía mecánica y calor (y/o frío)”.

Mediante la producción en conjunto de los diferente tipos de energía se busca que los la evacuación de cierta cantidad de calor que no puede ser convertido en trabajo no sea eliminado al ambiente sino que sea aprovechado en otro proceso y no se pierda la cantidad de energía que se invirtió para transformarla.

Mientras en la generación de energía se obtiene mediante la combustión en una caldera de combustible fósil para generar energía calorífica que se aprovecha para generar vapor de agua. Este vapor acciona una turbina de

vapor, transformando la energía calorífica en energía mecánica. Endesa educa (s.f.).

## **7.1.2. Generación de energía con biomasa y carbón**

En una planta que cuenta con un proceso simultáneo en donde se obtiene como desecho biomasa el aprovechamiento de esta para generar energía representa un beneficio económico para la empresa, mientras que con relación a la generación con carbón se da de modo que la generadora es convocada y el costo del carbón es reintegrado debido a que este se incluye en el precio de la energía con el que se distribuye a la red nacional.

### **7.1.2.1. ¿qué es biomasa?**

Biomasa se denomina al grupo de productos energéticos y materiales renovable tienen su origen a partir de materiales orgánicos.

Endesa educa (s.f.). Afirma: “la palabra biomasa describe los materiales provenientes de seres vivos animales o vegetales. Es decir, toda la materia orgánica (materia viva) procedente del reino animal y vegetal obtenida de manera natural o procedente de las transformaciones artificiales”.

Figura 1. **Bagazo**



Fuente: planta generadora de energía.

#### **7.1.2.2. Generación de energía con biomasa**

La generación de energía con biomasa en el ámbito nacional (principalmente en la industria azucarera) es utilizada debido a que el proceso fabril genera desechos quemables tipo fibra, que son utilizados como combustible en una caldera de presión en donde evaporar agua y el vapor generado es llevado a una turbina de vapor desde donde se pueden tomar extracciones de vapor que son enviadas a otro proceso fabril como podría ser una destilería para la producción de alcohol y es en este momento que se tiene una cogeneración de energía.

Endesa educa (s.f.). Afirma: “utilizan el mismo esquema de generación eléctrica que una central térmica convencional. La única diferencia es el combustible utilizado en la caldera, que proviene de nuestros residuos”.

### **7.1.2.3. Generación de energía con carbón**

Tenaris. (s.f.) Afirma: “las plantas a carbón producen electricidad a partir de la combustión de carbón, en un generador de vapor que transforma el agua en vapor de alta presión y alta temperatura. El vapor circula por una serie de turbinas de vapor que impulsan un generador eléctrico para producir electricidad. El vapor de escape de las turbinas se refrigera, por condensación se convierte en agua y finalmente se devuelve al generador de vapor para recomenzar el proceso”

Figura 2. **Carbón mineral**



Fuente: planta generadora de energía.

### **7.1.2.4. Medidas para controlar riesgos ambientales por generación de energía con carbón**

La mayoría de combustibles utilizados para combustión siendo la única excepción el gas natural, contienen impurezas que generan cenizas al quemarse (residuos sólidos de la combustión). Estos en algunos casos son escorias, cuando las cenizas se funden y aglomeran forman partículas más o

menos grandes o bloques que se pegan a las paredes del horno de la caldera o en algunos casos partículas más finas son arrastradas por los humos. Prieto (2000)

Además los avances tecnológicos han hecho que las exigencias ambientales sean más rigurosas haciendo que la generación a base de combustibles sea manejada de manera más limpia y responsable ambientalmente.

Algunos equipos para garantizar el control del riesgo ambiental por generación con carbón son los siguientes

**Figura 3. Sistema de cenizas secas**



Fuente: planta generadora de energía.

Figura 4. **Precipitador electrostático (esp)**



Fuente: planta generadora de energía.

Figura 5. **Silo de cenizas**



Fuente: planta generadora de energía.

Figura 6. **Reservorio de cenizas**



Fuente: planta generadora de energía.

## **7.2. Productividad**

El grado de utilidades de las empresas y en general de un país es medido en gran parte a los altos niveles de productividad, por lo que se vuelve indispensable garantizar que la misma tenga el mayor porcentaje de la misma.

Además los altos niveles de productividad de una empresa por lo regular van relacionados con el alto grado de calidad tanto del trabajo desempeñado por cada parte de la organización como de los aliados estratégicos con los que cuenta la empresa.

Arimón (1997) Afirma: “El concepto de productividad refiere a la eficiencia productiva con que es utilizada un unidad de factor o insumo, implica por tanto un cociente entre lo producido y lo insumido.”

## **7.2.1. Tipos de índices de productividad**

Estos se utilizan por lo regular cuando se tienen varios tipos de insumos en la producción del producto terminado.

### **7.2.1.1. Productividad Parcial**

Carro & González, (s.f.) Afirman: “La productividad Parcial es la que relaciona todo lo producido por un sistema (Salidas) con uno de los recursos utilizados (insumos o entradas).”

$$Productividad\ Parcial = \frac{Total\ Salidas}{Una\ Entradas}$$

### **7.2.1.2. Productividad Total De Factores**

Carro & González, (s.f.) Afirman: “La productividad total involucra, en cambio, a todos los recursos (Entradas) utilizados por el sistema; es decir el cociente entre las salidas y el agregado del conjunto de entradas.”

$$Productividad\ Total = \frac{Total\ Salidas}{Total\ Entradas}$$

### **7.2.1.3. Productividad Bruta**

Carro & González, (s.f.) Afirman: “La productividad bruta es el cociente entre el valor bruto de la salida (que incluye el valor de todos los insumos) y la entrada (o un conjunto de entradas) que incluye también el valor de todos los insumos”

#### **7.2.1.4. Productividad Neta**

Carro & González, (s.f.) Refieren que la productividad neta se define como el valor que se da agregado a la salida, por una entrada del cual el valor de ciertos insumos es excluidos del numerador y denominador del índice.

#### **7.2.2. Importancia de mantener la productividad en generadoras de energía**

Esta es fundamental para determinar si las diferentes máquinas y equipos están funcionando al máximo de su capacidad y con ello definir si la planta está en condiciones de aportar la energía en base a la capacidad instalada de la planta.

##### **7.2.2.1. Medición de productividad en generación de energía**

Para medir la productividad en la generación de energía es necesario determinar las entradas y salidas del proceso, en donde se dan dos casos debido a las dos temporadas de generación en la planta.

En el primer caso, la salida son kwh, mientras la entrada al proceso son Toneladas de bagazo, determinando la ecuación de la productividad de la siguiente manera:

$$Productividad\ Energia = \frac{KWh}{Tonelada\ de\ Bagazo}$$

En el segundo caso, las salidas seguirían siendo kwh, mientras la entrada para este proceso son Toneladas de carbón, con lo que determinamos la ecuación de la productividad de la siguiente manera:

$$Productividad\ Energia = \frac{KWh}{Tonelada\ de\ Carbón}$$

En ambos casos el valor de la productividad será determinado por las características específicas de las entradas que vienen siendo el combustible de la caldera los cuales tienen diferentes poderes caloríficos brindando resultados sumamente diferentes ya que el proceso se vuelve más eficiente utilizando combustible carbón.

### **7.3. Equipos rotativos críticos de operación en planta generadora**

Estos equipos pueden causar que la planta generadora detenga su operación por lo que son de vital importancia para la productividad de la misma.

#### **7.3.1. Ventiladores tiro forzado (FD FAN)**

Gaffert (1981). Describe la función de estos como:

Como la combinación que suprime el aire de tiro inducido y el aire de tiro forzado para producir una presión de aire suficiente para forzar los gases a la caldera.

Estos ventiladores suministran el aire primario que va directo para la combustión, ingresando por debajo de los tolvas giratorias y de la parrilla viajera. El aire reacciona y combustiona con el combustible, y viaja después como humo (gases de combustión). Este flujo de aire, ingresa al precalentador de aire (air heater), en la sección inferior del mismo. Se logra mejorar la

eficiencia de la combustión cuando se hace una buena regulación de aire primario-combustible.

### **7.3.2. Ventiladores aire secundario (SA FAN)**

Estos ventiladores tienen 4 funciones básicas en la caldera que son las siguientes:

- Con las boquillas distribuidas en las paredes frontal y trasera, el aire ingresa al horno (hogar), produciendo turbulencia y rompiendo el efecto chimenea, logrando así una buena distribución del calor en todo el horno y en el sobrecalentadores.
- La segunda función es que a la salida de los silos de alimentación de bagazo, están los dampers reguladores, que es meter aire secundario para atomizar y lograr dispersar y poner en suspensión el bagazo, para que se queme en el aire en su mayoría.
- La tercera función, es que se utiliza este aire secundario, para enfriamiento de los visores en la parte frontal de la parrilla viajera (stocker).
- Por ultimo este flujo de aire secundario, ingresa al precalentador de aire (air heater), en la sección superior del precalentador de aire.

Golato, M (Dic. 2005), describe en su artículo la importancia del aire inducido en la eficiencia térmica de calderas bagaceras productoras de vapor:

Se evalúa la inyección de aire secundario al hogar, previamente calentado. Además, se reúne información sobre la combustión y los factores que influyen en dicho fenómeno. Se calculó el rendimiento térmico en una caldera bagacera con inyección de aire secundario frío, mediante el empleo de

balances de masa y energía con datos de ensayos experimentales. Se planteó luego un modelo teórico para el caso de calentar todo este aire secundario, y se determinó el nuevo rendimiento térmico. Finalmente se realizó un análisis técnico-económico para evaluar la rentabilidad del uso de esta tecnología, teniendo en cuenta el ahorro de bagazo y su equivalente en gas natural.

### **7.3.3. Ventiladores de tiro inducido (ID FAN)**

La función de los tiros inducidos es extraer los gases de la combustión desde el horno (hogar), hasta la chimenea donde se van los gases a la atmosfera, pasando primero por la ruta del gas que es horno, sobrecalentadores, evaporadores, economizador, calentador de aire, precipitador electroestático (esp) y chimenea. Otra función importante del tiro inducido es mantener negativa la presión en el horno (hogar), y en todo el recorrido de los gases.

### **7.3.4. Sistema alimentación de combustible**

El sistema de alimentación de combustible con el que se cuenta con dos sistemas independientes el primero es de alimentación de bagazo, se compone de los siguientes equipos:

- Conductor de banda alimentación núm. 8: recibe el bagazo que viene directo de molinos.
- Conductor de tablillas núm. 9: recibe el bagazo del conductor de alimentación, y lo transporta y distribuye en las seis entradas de bagazo a la caldera, y el remanente que no se va a la caldera, lo devuelve al siguiente conductor.

- Conductor de banda de retorno núm. 10: recibe el bagazo remanente del conductor de tablillas, y lo devuelve al conductor principal de calderas, para almacenarlo en la bodega bagacera.
- Compuertas (Piñion Gate): son las 6 compuertas, que regulan la entrada del bagazo a los silos antes de caer a los alimentadores de bagazo.
- Silos de bagazo: son 6 silos rectangulares, los cuales se encargan de controlar la capacidad de almacenaje de bagazo, mientras los alimentadores desmenuzan y distribuyen apropiadamente el bagazo.
- Alimentadores de Bagazo (Drum feeders): son 6 alimentadores tipo tambor, con raspillas en sus rodos, para desterronar el bagazo y enviarlo desmenuzado al horno.
- Chutes de bagazo: son las caídas inclinadas que van de los drum feeders hasta la entrada del bagazo al horno.
- Dampers Reguladores (Spreaders dampers): son los dampers reguladores del aire secundario, que entra a la salida de los chutes de bagazo en el horno, para esparcir el bagazo en el horno. Al final de los tubos de los reguladores, también hay 6 compuertas que regulan la inclinación y la distancia a la que se desea que caiga el bagazo dentro del horno.

El segundo sistema de alimentación de combustible para la caldera es de combustible carbón mineral que se compone de lo siguiente:

- Bodega de carbón: con capacidad de almacenar hasta 15,000 toneladas de carbón mineral, desde donde se suministra a los conductores de carbón por medio de un cargador frontal.
- Conductor de banda núm. 5 de carbón: en este se alimenta el carbón directamente desde la bodega de carbón.
- Conductor de banda núm. 6 de carbón: este recibe el carbón del conductor 5 con un ángulo de 30 grados sobre la horizontal hasta un silo que conecta con la trituradora de carbón.
- Trituradora de carbón: esta se encarga de triturar los trozos grandes de carbón para facilitar que sean quemados en el horno.
- Conductor de banda núm. 7 de carbón: transporta el carbón triturado desde la una altura de 1 metro hasta el nivel superior de la caldera.
- Conductor de banda núm. 8 de carbón: recibe el carbón del conductor núm. 7 y lo deposita en 2 tolvas de carbón desde donde se conectan con los alimentadores de Carbón.
- Alimentadores de carbón: son 8 alimentadores tipo tambor independiente entre sí, cuya función es enviar el mismo a los chutes de carbón.
- Chutes de carbón: son las caídas inclinadas que van de los alimentadores de carbón hasta la entrada del horno.

### **7.3.5. Sistema de alimentación de agua**

Consta de los siguientes equipos:

Bombas Alimentación (BFP): son 3 bombas con capacidad de 365 gpm cada una, y alimenta a 1 500 PSI. Operan 2 continuamente y 1 se mantiene de respaldo. Potencia 650 KW. Estas reciben el agua del deareador, y descargan directamente al economizador hasta el domo.

Atemperador: de la línea de descarga de las BFP, salen tres líneas en particular, que se dirigen hacia los cabezales del sobrecalentador primario 1 y el sobrecalentador primario 2, para meter un spray de agua de alimentación en la tubería de vapor, para bajar la temperatura en sobrecalentadores.

### **7.4. Monitoreo de condiciones en equipos críticos**

Se denomina análisis de condiciones debido a que se comparan las condiciones de operación de los equipos con parámetros ya establecidos por normas y tablas.

#### **7.4.1. Mantenimiento Predictivo**

Como su nombre lo indica este tipo de mantenimiento se basa en predicción de fallas, se diferencia de los típicos en que para que el mantenimiento sea correctivo la falla ya ha sucedido y para que el mantenimiento sea preventivo se necesita tener los equipos fuera de operación este tipo de mantenimiento es el que le sigue al mantenimiento predictivo luego de detectar la falla.

Martínez C. (Dic, 2001) Afirma: es la aplicación racional de tecnologías de punta con el objetivo de identificar y monitorear las fallas, para planificar en forma conveniente su reparación, minimizando las pérdidas en la producción por parada de la máquina.

Martínez C. (Dic, 2001) Afirma: los principales éxitos de Mantenimiento Predictivo en la gran mayoría de plantas industriales, han sido los significativos ahorros que ha logrado, al evitar paradas de planta por fallas imprevistas en las maquinas principales de las líneas de producción, luego su área de responsabilidad se ha extendido a los demás equipos de la planta industrial, eliminándose paulatinamente el Mantenimiento Preventivo en la mayoría de los equipos rotativos y ejecutándose los mantenimientos a solucionar fallas específicas que presentan cada máquina en particular.

#### **7.4.1.1. Principales objetivos de mantenimiento predictivo**

- Minimizar las pérdidas por tiempos perdidos en la planta generadora.
- Reducir los costos de mantenimiento correctivo.
- Minimizar las fallas durante la operación.
- Realizar un plan de mantenimiento preventivo específico únicamente cuando es necesario.
- Mantener confiabilidad de los equipos.

#### **7.4.1.2. Ventajas del mantenimiento predictivo**

- Maximizar la vida útil de los elementos de las máquinas y equipo.
- Permite visualizar la evolución de una falla en el tiempo.
- Permite administrar al personal de mantenimiento de manera correcta.

- Permite crearle un registro de trazabilidad de condiciones a las máquinas y los equipos.
- Facilita el análisis de las fallas.
- Permite el análisis estadístico del comportamiento de las máquinas y los equipos.
- Permite crear un programa de paros en programados antes que suceda la falla.
- Optimiza las labores de mantenimiento.
- Minimiza el consumo de repuestos.
- Aumenta la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas.

#### **7.4.2. Monitoreo del aceite lubricante**

Este tipo de análisis de condiciones se lleva a cabo extrayendo de los equipos críticos a analizar una pequeña muestra de aceite de la maquina o equipo en funcionamiento y se analiza en laboratorios específicos que se encargan de brindar un diagnóstico de las condiciones del aceite.

Martínez C. (Dic, 2001) Afirma: hay varias técnicas disponibles, sin embargo, es importante no olvidar lo siguiente:

- Visual, inspección del almacenaje a granel para ver señales de agua o aeración severa, el color resaltará cualquier cambio del estado de aceite.
- Olores, los olores picantes indicarán oxidación del aceite y aditivos, los olores desagradables indicarán el crecimiento microbiano.
- La prueba del papel secante, es útil en aceites para motores diesel, varios problemas son identificados fácilmente, tales como: productos de oxidación, lodo, glicol y agua.

- La prueba del chasquido de la humedad, cuando la humedad o el agua está presente en el aceite, será evidente con un chasquido, cuando el aceite se somete a una alta temperatura, al dejar caer una gota sobre una plancha caliente ( $>125^{\circ}\text{C}$ ) y se escucha el chasquido, si no se oye entonces el aceite está debajo del punto de saturación.
- La vida del Filtro, la vida corta del elemento del filtro, identificará el problema real, el cual requiere ser analizado.

### **7.4.3. Monitoreo de vibraciones**

Este tipo de monitoreo de condiciones es quizás el más importante a desarrollarse en una planta, debido a que nos muestra las condiciones de operación actuales, además es muy amplio ya que es aplicable tanto a transmisiones de cadenas, reductores con engranajes, hasta rodamientos, que se encuentran como elementos rodantes en las máquinas y equipos en la planga de generación.

Martínez C. (Dic, 2001) Afirma: el control y análisis vibracional espectral es la herramienta principal del Mantenimiento Predictivo, se basa en que las máquinas tienen un nivel normal de vibración, como resultado de estar dentro de las tolerancias de las especificaciones de fabricación, montaje y operación.

Martínez C. (Dic, 2001) Afirma: sí hay algún parámetro fuera de especificación entonces es una falla que causará el incremento del nivel vibracional, esta falla puede ser identificada por su comportamiento dinámico (amplitud, frecuencia y ángulo de fase).

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Generalidades

1.2. Antecedentes

1.3. Generación de energía

1.3.1. Diferencia entre generación y cogeneración

1.3.2. Generación de energía con biomasa y carbón

1.3.2.1. ¿Qué es biomasa?

1.3.2.2. Generación de energía con biomasa

1.3.2.3. Generación de energía con carbón

1.3.2.4. Medidas para controlar riesgos ambientales por generación de energía con carbón

1.4. Productividad

1.4.1 Tipos de índices de productividad

1.4.2 Productividad parcial

1.4.3 Productividad total de factores

- 1.4.4. Productividad bruta
- 1.4.5. Productividad neta
- 1.4.6. Importancia de mantener la productividad en generadoras de energía.
- 1.4.7. Medición de productividad en generación de energía
- 1.5. Equipos rotativos críticos de operación en planta generadora
  - 1.5.1. Ventiladores tiro forzado (FD FAN)
  - 1.5.2. Ventiladores aire secundario (SA FAN)
  - 1.5.3. Ventiladores de tiro inducido (ID FAN)
  - 1.5.4. Sistema alimentación de combustible
  - 1.5.5. Sistema de alimentación de agua
- 1.6. Monitoreo de condiciones en equipos críticos
  - 1.6.1. Mantenimiento predictivo
    - 1.6.1.1. Principales objetivos de mantenimiento predictivo
    - 1.6.1.2. Ventajas del mantenimiento predictivo
  - 1.6.2. Monitoreo del aceite lubricante
  - 1.6.3. Monitoreo de vibraciones

## 2. DIAGNÓSTICO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS PARA GARANTIZAR LA PRODUCTIVIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

- 2.1. Equipos Auxiliares de Generación En Caldera.
  - 2.1.1. Equipos críticos
    - 2.1.1.1. Bombas de alimentación.
    - 2.1.1.2. Ventiladores forzados
    - 2.1.1.3. Ventiladores secundarios.
    - 2.1.1.4. Ventiladores inducidos.
- 2.2. Equipos Auxiliares de Generación En Torre de Enfriamiento
  - 2.2.1. Equipos críticos
    - 2.2.1.1. Bomba de Tanque de Agua.

- 2.2.1.2. Bombas de Relleno
    - 2.2.1.3. Motores de Ventiladores
  - 2.3. Equipos Auxiliares de Generación de Turbogenerador.
    - 2.3.1. Equipos Críticos.
      - 2.3.1.1. Turbina.
      - 2.3.1.2. Generador.
      - 2.3.1.3. Bombas de enfriamiento.
      - 2.3.1.4. Bombas de vacío.
      - 2.3.1.5. Bombas de condensados.
- 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 5. PROPUESTA DE SISTEMA DE MONITOREO DE CONDICIONES

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

A continuación se describirán brevemente las técnicas, métodos y procedimientos que serán utilizados en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos propuestos para esta investigación.

### **9.1. Tipo de estudio**

El presente diseño de investigación se trabajara mediante de una investigación descriptiva. Debido que se busca explicar el comportamiento de los equipos críticos desde la situación inicial de operación llevando una secuencia de obtención de datos y verificar las condiciones durante la operación normal de los mismos, así mismo se presentaran valores de productividad periódica para determinar qué factores fueron influyentes en los resultados obtenidos, en la búsqueda de garantizar la productividad de generación de energía eléctrica.

### **9.2. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación será no experimental basado en la interpretación de los datos obtenidos de los análisis de vibraciones de los equipos claves de operación.

Para el tipo de estudio se ha definido que será cualitativo y cuantitativo al mismo tiempo, debido a que se contara con un análisis de datos a través de toma de datos periódicos para finalizar con una propuesta de monitoreo de condiciones.

### 9.3. Variables e indicadores

Las variables que se utilizarán durante la investigación son de tipo cualitativo al igual que los indicadores con lo que se busca determinar la relación entre las variables.

El tipo de productividad utilizada será la productividad valorizada debido a que será medida en base la generación de energía producida en cada mes multiplicado por el valor monómico de la misma, dividido por los costos de producir energía mensual.

**Tabla I. Variables e Indicadores**

<b>Núm.</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Instrumentos</b>
1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Generación de Energía</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• KWH</li></ul>	Contadores de Energía.
2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Costos de Operación</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• \$</li></ul>	Con base en ejecución de Presupuesto.
3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Precio Spot</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• \$/KWH</li></ul>	Con base en el precio del mercado.
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Precio Contrato</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• \$/KWH</li></ul>	En base al precio pactado.
4	<ul style="list-style-type: none"><li>• Condiciones de operación de los equipos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• RMS</li></ul>	En obtendrá en las mediciones de vibraciones.
5	<ul style="list-style-type: none"><li>• Generación y Venta por consumo de Combustible</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• KWh/Ton Combustible</li></ul>	Se medirá la productividad en base a la eficiencia del rendimiento por combustible

Fuente: elaboración propia.

#### **9.4. Población y muestra**

La población son todas las máquinas y equipos rotativos que se encuentran en la planta generadora y la muestra la maquinaria de operación crítica en generadora de energía como lo son: turbinas, reductores, generadores, motores, bombas, ventiladores.

#### **9.5. Alcance**

El nivel de investigación que se diseñara será el explicativo ya que se intenta identificar posibles problemas que se dan en los equipos claves de operación en la generación de energía.

El proyecto se realizara de forma exploratoria desde su inicio debido a que se necesita obtener toda la información posible para identificar los equipos críticos, esto para garantizar la productividad de energía.

Luego se deberá determinar el tipo de actividad y técnica de análisis que se realizará en dicha maquinaria, se tendrá que obtener información básica del funcionamiento de los equipos críticos de operación esto podrá dar paso a la implementación del análisis de vibraciones con lo que se identificarán las condiciones con las cuales estará funcionando el mismo mientras se está produciendo la mayor cantidad de energía según la capacidad de generación.

Es necesario tener conocimientos de análisis de vibraciones y de contar con la información necesaria para poder analizar el comportamiento de los equipos adecuadamente, ya que se deberán analizar independientemente los puntos en donde se realizó el análisis de vibraciones.

Se realizará un monitoreo periódico, por lo que se deberán crear formatos específicos para cada equipo crítico para luego analizar cuál es la tendencia de comportamiento mediante un análisis estadístico.

El objetivo que se busca alcanzar es la generación continua e identificar tempranamente posibles fallas en los equipos críticos para la generación de energía.

## **9.6. Fase de metodología a aplicar**

Hace referencia al conjunto de procedimientos racionales utilizados para alcanzar el objetivo que rige la investigación, que requieran habilidades, conocimientos o cuidados específicos.

### **9.6.1. Revisión documental**

En esta se dan la revisión y aceptación de los documentos correspondientes para dar inicio a la investigación.

### **9.6.2. Fase 1**

Determinación de condiciones iniciales de operación de los equipos críticos.

Se determinará el planteamiento del tema de investigación, se definirá el alcance de la investigación y formulación de la propuesta.

Se definirán cuáles son los equipos a analizar y se procederá a obtener los primeros datos de vibraciones de los equipos críticos, también se

compararán con la tabla de velocidad vibración de la Norma ISO 10816-3 para determinar si se encuentran en condiciones óptimas de operación a largo plazo.

Con esta fase se cumplirán los objetivos específicos uno y dos, debido a que se determinaran cuáles son los equipos claves de operación y las condiciones iniciales de los mismos.

### **9.6.3. Fase 2**

Monitoreo De Condiciones De Operación Periódicamente De Equipos Críticos.

Se realizara el programa de mantenimiento predictivo para darle seguimiento a las condiciones de operación periódicamente.

Se recolectaran los datos y se canalizaran por medio de una hoja de Excel en donde se podrán observar la tendencia de condiciones y se podrán detectar tempranamente las posibles fallas que se puedan dar durante la generación de energía que puedan causar paros no programados.

Con lo que se estaría cumpliendo con el objetivo específicos tres y cuatro dando como resultado información confiable que garantice la generación a lo largo del periodo proyectado.

### **9.6.4. Fase 3**

Canalización De Información Generando Valores De Productividad Mensual.

Se busca determinar el valor real de la Productividad que se obtiene de la Generación de Energía, valor que aún no ha sido calculado durante la operación que ha tenido la generadora en el país; por lo que se espera que los primeros valores no oscilen mucho entre ellos si se mantiene la generación de energía proyectada a lo largo del periodo determinado.

Si se cumple con esto se podrá cumplir con el objetivo específico número cinco debido a que se mantendría un índice de productividad estable cada mes y con lo que obtendremos bajos costos por tiempos perdidos de generación.

#### **9.6.5. Fase 4**

Recolección de datos a lo largo del período determinado. Se recolectará toda la información obtenida mes a mes y se analizarán los resultados obtenidos, en donde se espera que los valores mensuales del índice de productividad tengan poca variabilidad.

Con lo que se estaría cumpliendo con el objetivo general de proyecto.

## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

### **10.1. Análisis de la información**

El análisis de información se realizara en base a la estadística descriptiva debido a que el proceso se iniciara mediante la obtención de los datos luego se creara un programa de mantenimiento predictivo en base al monitoreo de vibraciones en condiciones globales en las cuales se obtendrán mediante el uso de un equipo especial para el análisis de vibraciones con el cual ya se cuenta en la planta, la recolección se hará de manera periódica, el análisis se llevara a cabo por la medida de las tendencias centrales en base a las condiciones óptimas de operación de los equipos, entre cada equipo se tienen variables independientes.

Al detectarse algún tipo valor fuera de rango de operación normal de los equipos se realizara un análisis más específico mediante el análisis espectral el cual nos brindara la tendencia típica de la falla que se podría estar presentando en el equipo analizado.

La información se canalizara mediante una hoja de cálculo de Excel en donde se podrán observar claramente la tendencia de condiciones de los equipos críticos de operación.

La productividad será medida de manera mensual en donde se espera que si no se obtienen valores fuera de rango ni peligros de fallas en los equipos críticos no tenga variabilidad mes a mes.

Recolección De Datos: la toma de datos se realizara periódicamente por lo que se realizara un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones, se elaborara un plan basado en la criticidad de los equipos brindándoles más importancia a los equipos que presenten condiciones fuera del rango aceptable de condiciones.

Los datos se obtendrán mediante formatos que se crearan especialmente para cada equipo, luego se documentaran en una hoja de cálculo de Excel en donde se podrá llevar adecuadamente la tendencia de condiciones, con lo que se podrán realizar programas de mantenimiento programados con lo que se reducirán los riesgos de tiempos perdidos, mantenimientos correctivos y daños graves a equipos que causen costos extras de reparación. Con lo anterior se busca garantizar que el valor de productividad se mantenga con poca variabilidad durante los meses proyectados.

Análisis de Datos: el procedimiento será el de realizar toma de datos física en cada una de las maquinas criticas de operación con el equipo vibraciones luego de la recolección de datos en los puntos en donde existen elementos rodantes o bien transmisión de potencia mecánica, se utilizara la tabla de velocidad vibración de La Norma ISO 10816-3, para determinar la condición del equipo.

Si los valores de estas mediciones nos dieran como resultado valores altos de vibración, causando con ella una operación riesgosa se procederá a realizar mediciones de análisis espectral, luego estos espectros obtenidos se compararan con las fallas típicas según tablas ilustradas de diagnóstico de vibraciones.

Por ultimo si se tiene algún tipo de falla típica de vibraciones será necesario realizar un plan de mantenimiento preventivo para evitar los daños en los equipos.

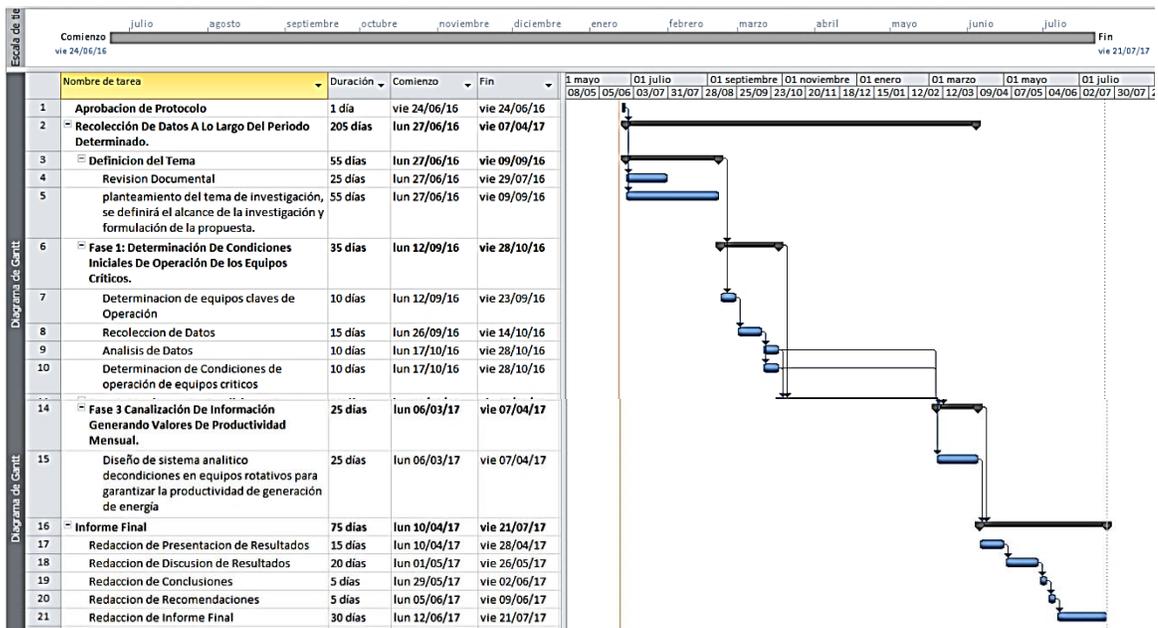
Como parte de la retroalimentación de información también será necesario realizar una medición de confirmación de mediciones y realizar este tipo de análisis periódicamente.

Presentación de Datos: luego será necesario canalizar la información, haciendo uso de una hoja de Excel para recolectar la misma, en donde se graficaran tendencias y se definirá si los valores de las mediciones han tenido variabilidad, todo esto se presentara por medio de gráficos.



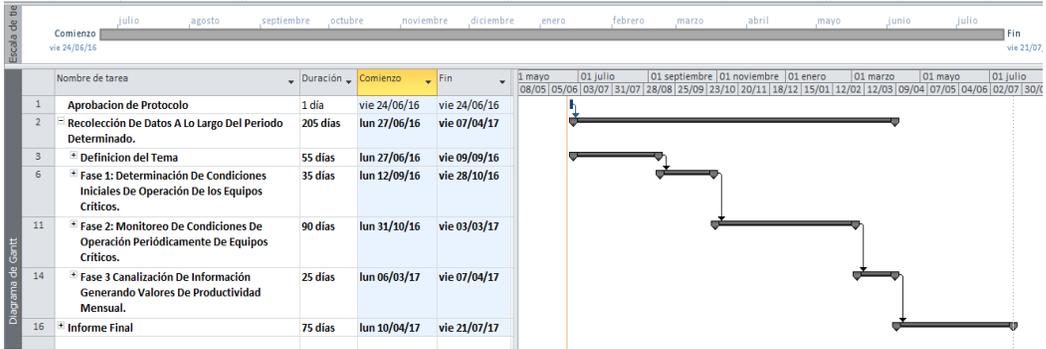
# 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 7. Cronograma detallado



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Cronograma general



Fuente: elaboración propia.

## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio se desarrollara en una planta generadora la cual cogenera energía a base de bagazo de caña mediante un ciclo combinado en conjunto con el departamento de fabricación de productos derivados de la caña de azúcar; asimismo la planta tiene capacidad para generar energía en el periodo de tiempo que el departamento de fabricación no se encuentra en producción de azúcar mediante la quema de carbón mineral, por lo que esta planta cuenta con la capacidad de estar conectada a la red nacional durante todo el año.

La obtención de información se hará con la ayuda de un equipo de análisis de vibraciones, por lo que se deberá crear la ruta de análisis y sacar la tendencia de las características de operación según normas internacionales, las cuales se deberán comparar con tablas de operación según la capacidad de los equipos, con el cual se garantizará la productividad de energía.

La información se canalizara mediante una hoja de cálculo de Excel en donde se tendrá la recolección de toda la información de los análisis realizados; así mismo se cuenta con información de los costos de generación entre los que se tiene mano de obra, químicos para tratamiento de aguas, repuestos, servicios de operación, gastos administrativos, etc. Por lo que se cuenta con el valor de las entradas que se dan al proceso y el valor de las salidas serán calculadas en base a la generación y el precio monómico por KWh vendido.

Con lo que se puede concluir que se cuenta con el capital humano, técnico y la información necesaria para llevar a cabo el proyecto planteado.



### 12.1.1. Recursos

A continuación se detalla el conjunto de elementos disponibles para resolver las necesidades de la empresa.

Tabla I. Recursos

<b>Tipo</b>	<b>Recurso</b>	<b>Costo (Q)</b>
• Humanos	• Asesor. • Analizador.	• 2 500 • N.A.
• Institucionales	• Empresa generadora de energía. • Facultad de Ingeniería, USAC	• N.A. • N.A.
• Materiales y equipo	• Equipo de Vibraciones, • Formato de toma de datos, • Tabla de Norma ISO 10816-3	• 30 000 • 200 • N.A.
<b>Total</b>		<b>32 700</b>

Fuente: elaboración propia.

### 12.1.2. Financiamiento del proyecto

El proyecto en será de realización mixta debido que los costos en cuanto las instalaciones, los materiales y equipos serán brindados por la empresa y costos de los recursos humanos los cubrirá el analizador.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar K. I. (09 de Noviembre de 2012) *¿Cómo Se Genera La Energía Eléctrica En Guatemala?* Instituto de Ciencias y Tecnología para el Desarrollo InCyTDe. Recuperado de:  
<http://www.incytd.org/incytd/content/c-mo-se-genera-la-energ-el-ctrica-en-guatemala>
2. Arimón Gabriel (Marzo de 1997) Productividad Total de Factores.
3. Carro & González, (S.F.) Productividad Y Competitividad. Administración de las Operaciones. (16) p. 3.
4. Endesa Educa (s.f.). Centrales de Biomasa. Recuperado de:  
[http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiv.-las-centrales-de-biomasa)
5. \_\_\_\_\_. (s.f.). *Centrales eléctricas.*  
[http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/vii.-las-centrales-electricas.](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/vii.-las-centrales-electricas)
6. Energiza (s.f.). Plantas de Cogeneración. Recuperado de:  
<http://www.plantasdecogeneracion.com/>

7. Gaffert G. A. (1981). *Centrales de Vapor*. Lugar de Publicación Barcelona, España: Editorial Editorial Reverté, S.A. Encarnacion 86, Barcelona.
8. Golato, M. A. (Dic. 2005). Inyección de aire secundario caliente en calderas de vapor bagaceras y su influencia en el rendimiento térmico. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30182005000100003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182005000100003)
9. Martinez C. (2001). *Análisis Vibracional En Equipos Rotativos Y Mantenimiento Predictivo, Voumen.(01)*, 5-8.
10. *Prácticas de trabajo para Reducir los Costos*. Recuperado de: [http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-op-maint\\_101es.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-op-maint_101es.pdf)
11. Prieto Ismael. (Diciembre 2000). *Sistemas de Escorias y Cenizas. Centrales Termicas. (18) p. 1.*
12. Ruiz Acevedo, A. M. (2012). *Modelo Para La Implementación De Mantenimiento Predictivo En Las Facilidades De Producción De Petróleo*. (Tesis de especialización) Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
13. Saldivia F. Acevedo E. y Pérez R. (14-16 de agosto de 2013) *Estrategias De Mantenimiento Predictivo Aplicables A Transformadores De Potencia De Una Empresa Eléctrica*. 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.

Recuperado de: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP266.pdf>

14. Sosa, R. E. (2008) *Diseño Mecánico Y Análisis De Vibraciones Aplicado A Sistemas De Generación Eléctrica De Alta Velocidad De Giro*. (Tesis de Maestría) Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
15. Tenaris. (s.f.). Centrales Eléctricas a Carbón. Recuperado de: <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/PowerGeneration/CoalFiredPowerPlants.aspx>





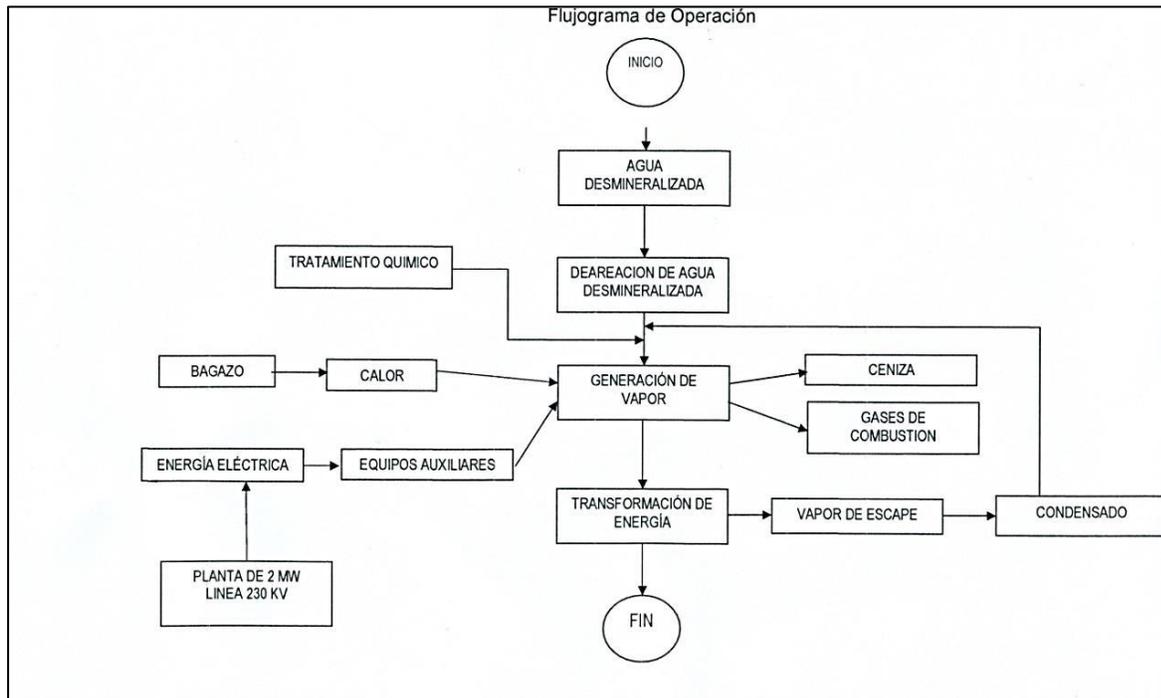
## 14. ANEXOS

### Anexo 1. Diagrama tipo de máquinas

								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. Inch/s	Velocidad Vibración <small>10 - 1000 Hz n &gt; 600 1/min (2 - 1000 Hz n &gt; 120 1/min)</small>
								11	0.433	
								7.1	0.280	
								4.5	0.177	
								3.5	0.138	
								2.8	0.110	
								2.3	0.091	
								1.4	0.055	
								0.71	0.028	
rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	<b>Fundación</b>		
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		<b>Tipo de Máquina</b>		
Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		<b>Grupo</b>		
								<b>A</b> Puesta en operación recientemente. <b>B</b> Operación para largo plazo. <b>C</b> Operación para corto plazo <b>D</b> Vibración causando daños		

Fuente: Norma ISO 10816-3.

## Anexo 2. Flujo de operación



Fuente: Norma ISO 10816-3.