

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL BALANCEO DE GENERADORES
DE ALTO VOLTAJE EN ISAGEN S.A. ESP.

SANTIAGO ARANGO GUERRA
SANTIAGO MOLINA DELGADO

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL BALANCEO DE GENERADORES
DE ALTO VOLTAJE EN ISAGEN S.A. ESP

SANTIAGO ARANGO GUERRA
SANTIAGO MOLINA DELGADO

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Asesor:
Juan Santiago Villegas

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, noviembre de 2010

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.2.1 Objetivo 1	13
1.2.2 Objetivo 2	13
1.2.3 Objetivo 3	13
1.2.4 Objetivo 4	13
1.2.5 Objetivo 5	14
1.2.6 Objetivo 6	14
2. ISAGEN S.A. ESP	15
2.1 MISION	15
2.2 VISION	16
2.3 SAN CARLOS	16
2.3.1 Equipos principales	16
2.4 CALDERAS	17
2.5 MIEL I	17
2.6 JAGUAS	18
2.7 TERMOCENTRO	19
3. FUNDAMENTOS DE LA GENERACION DE ENERGIA	20

3.1 TURBINA.....	23
3.1.1 Turbinas Pelton	24
3.1.1.1 Distribuidor de la turbina Pelton	25
3.1.1.2 Rodete	26
3.1.2 Turbinas Francis	26
3.1.2.1 Caracol o cámara espiral	27
3.1.2.2 Distribuidor	27
3.1.2.3 Rodete	27
3.1.2.4 Tubo de aspiración	27
3.1.3 Turbinas Kaplan	28
3.2 GENERADOR	29
4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	31
4.1 INSPECCIÓN INFRARROJA	33
4.1.1 Espectro infrarrojo.....	34
4.1.1.1 Mantenimiento de equipos eléctricos.....	35
4.2 RESISTENCIA TERMICA	36
4.3 VIBRACIONES MECÁNICAS.....	37
5. BALANCEO DE GENERADORES	40
5.1 METODOLOGÍA.....	40
5.1.1 Selección de sensores	40
5.1.1.1 Sensor de Desplazamiento	40
5.1.1.2 Sensor de Velocidad	41
5.1.1.3 Sensor de Aceleración (Acelerómetro)	41

5.1.2	Análisis espectral	42
5.1.2.1	La transformada de Fourier.....	43
5.1.3	Relación de esbeltez.....	45
5.1.4	Sensibilidad de la máquina	45
5.1.5	Realización de mediciones.....	46
5.1.6	Cálculo de ubicación y magnitud del peso final.....	47
6.	EJEMPLO PRÁCTICO	49
6.1	BALANCEO GENERADOR CENTRAL JAGUAS.....	49
6.2	AHORRO ECONÓMICO DE LA METODOLOGIA UTILIZADA.....	53
7.	OTRAS APLICACIONES.....	55
8.	CONCLUSIONES.....	58
	BIBLIOGRAFÍA.....	60

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Centrales Isagen.....	15
Tabla 2. Variables formula Relación de esbeltez.....	45
Tabla 3. Datos vibración condición inicial.....	51
Tabla 4. Datos vibración condición media.....	52
Tabla 5. Resultado final.....	52
Tabla 6. Datos vibraciones condición final.....	53
Tabla 7. Costos por metodología.....	54

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Ubicación Central San Carlos	16
Ilustración 2. Central Miel I	17
Ilustración 3. Central Jaguas	18
Ilustración 4. Esquema Central Hidroeléctrica	20
Ilustración 5. Esquema Central Térmica	21
Ilustración 6. Esquema Central Eólica	21
Ilustración 7. Esquema Central Solar	22
Ilustración 8. Gráfico de la selección de turbina	24
Ilustración 9. Inyector	25
Ilustración 10. Rodete	26
Ilustración 11. Turbina Francis	28
Ilustración 12. Turbina Kaplan	28
Ilustración 13. Generador	29
Ilustración 14. Disposiciones de los cojinetes	30
Ilustración 15. Esquema Generador	30
Ilustración 16. Costos de los diferentes tipos de mantenimiento	31
Ilustración 17. Estructura mantenimiento predictivo	32
Ilustración 18. Mantenimiento predictivo	33
Ilustración 19. Ejemplo termografía	35
Ilustración 20. Ejemplo gráfico vibraciones	38
Ilustración 21. Espectro de vibraciones	38
Ilustración 22. Generador central jaguas	39
Ilustración 23. Rotor	39
Ilustración 24. Espectro y señal de vibración desplazamiento	41
Ilustración 25. Espectro y señal de vibración velocidad	41
Ilustración 26. Espectro y señal de vibración aceleración	42

Ilustración 27. Espectro	43
Ilustración 28. Gráfica dominio del tiempo	44
Ilustración 29. Gráfica espectro	44
Ilustración 30. Rotor Jaguas	49
Ilustración 31. Esquema disposición de sensores	50
Ilustración 32. Espectro	51
Ilustración 33. Sistema de ventilación.....	56
Ilustración 34. Ventiladores	56

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Transformada de Fourier	43
Ecuación 2. Relación de esbeltez.....	45
Ecuación 3. Sensibilidad de la maquina	46
Ecuación 4. Peso final	47
Ecuación 5. Ubicación peso final	48

INTRODUCCIÓN

Uno de los sectores empresariales más importantes en Colombia es el sector energético, el cual le aporta desarrollo industrial y crecimiento económico al país. Entre las empresas que tienen como objetivo la generación de energía esta ISAGEN S.A ESP, una empresa del estado ubicada en la ciudad de Medellín y con sedes en diferentes ciudades de Colombia.

ISAGEN S.A ESP tiene 5 centros productivos, 4 hidroeléctricas: San Carlos, Calderas, Jaguas y Miel I, y 1 Termoeléctrica: Termocentro; con una capacidad instalada de generación de 1240 MW, 26 MW, 170 MW, 396 MW y 300 MW respectivamente. Las 3 primeras ubicadas en la zona de Guatapé, Antioquia, Miel I en Norcasia, Caldas y Termocentro en Cimitarra, Santander.(ISAGEN, 2003)

La sede principal está ubicada en el sector del poblado en la ciudad de Medellín, donde se encuentran todos los equipos de administración, Producción y Comunicación, además de la Gerencia General y el Centro de Desarrollo Integral (CDI). Desde allí se realiza el manejo y control de los 5 centros productivos.

En la Gerencia de Producción está el equipo de Mantenimiento e Ingeniería, los cuales se encargan de que las centrales estén operando de manera adecuada, para así poder generar energía eficientemente. Para lograr esto se hacen estudios de Mantenimiento Predictivo como: Termografías, Análisis de vibraciones, Chequeo de espesores, Líquidos penetrantes y partículas magnéticas, Análisis metalográficos, Análisis de aceites, Chequeo de corrientes y aislamiento etc.

Los estudios anteriormente mencionados, son realizados en su mayoría por la misma empresa, ya que posee personal capacitado y certificado para la realización de los mismos. Sin embargo, existen estudios los cuales son subcontratados.

Para realizar dichos estudios se hace primero una clasificación de equipos: críticos y periféricos, ya que no es fundamental que se le realicen los análisis a cada uno de los equipos que se encuentren en las centrales. Además hacer un monitoreo online a todos los equipos demanda un valor económico alto.(ISAGEN, 2003)

Entre los estudios que se realizan está el análisis de vibraciones, este lo hacen personas del equipo de Mantenimiento e Ingeniería, para extraer datos, analizarlos y así poder realizar mejoras en los equipos de las centrales.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una metodología clara y sencilla para balancear generadores basados en un diagnóstico de vibración mecánica en ISAGEN S.A. ESP.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Objetivo 1

Realizar un diagnóstico y presentación de la empresa ISAGEN S.A. ESP, para entender la importancia del tema de generación energética del país. Nivel uno - Conocimiento.

1.2.2 Objetivo 2

Describir el proceso de generación de energía en las centrales de ISAGEN S.A. ESP para comprender la relevancia de cada uno de sus componentes detalladamente. Nivel uno - Conocimiento.

1.2.3 Objetivo 3

Documentar todo sobre mantenimiento predictivo haciendo énfasis en las técnicas utilizadas en ISAGEN S.A. ESP para los generadores. Nivel uno - Conocimiento.

1.2.4 Objetivo 4

Diseñar una metodología para hacer balanceos a los generadores de las centrales de ISAGEN S.A. ESP, para que quede documentado físicamente y pueda ser replicado igualmente en todas las centrales de la empresa. Nivel dos - Diseño.

1.2.5 Objetivo 5

Realizar una prueba en uno de los generadores siguiendo paso a paso la metodología diseñada, para ponerla en práctica y validar el procedimiento además cuantificar el beneficio económico de la implementación. Nivel tres - Aplicación.

1.2.6 Objetivo 6

Considerar otro tipo de aplicaciones, y otras maneras de hacer la misma técnica, para posiblemente tener un rango más amplio de equipos a los cuales se les pueda aplicar la metodología. Este aspecto aumentaría el beneficio económico para la compañía. Nivel cuatro – Análisis.

2. ISAGEN S.A. ESP

ISAGEN es una empresa de servicios públicos mixta, su objeto principal es la generación y comercialización de energía eléctrica, así como la comercialización de gas natural por redes, carbón, vapor, y otros energéticos de uso industrial.

ISAGEN posee y opera sus propias centrales de generación con recursos de origen hídrico y térmico: centrales hidroeléctricas San Carlos, Jaguas, Calderas y Miel 1 y la central termoeléctrica Termocentro.

Tabla 1. Centrales Isagen

Central	Ubicación	Capacidad Instalada MW
Central hidroeléctrica San Carlos	San Carlos (Antioquia)	1240
Central hidroeléctrica Jaguas	San Rafael (Antioquia)	170
Central hidroeléctrica Calderas	Granada (Antioquia)	26
Central hidroeléctrica Miel	Norcasia (Caldas)	396
Central térmica Termocentro	Cimitarra (Santander)	300

2.1 MISION

“La gestión se desarrolla con ética, enfoque al cliente, sentido económico responsabilidad social y ambiental”.(ISAGEN, 2003)

2.2 VISION

“El desarrollo integral de los trabajadores y la responsabilidad empresarial son la base de la creación conjunta de valor para los accionistas y la sociedad”.

2.3 SAN CARLOS

Esta central está ubicada en el departamento de Antioquia, en jurisdicción del municipio de San Carlos, esta central es la de mayor capacidad instalada del país, con 1240 Mw.

Ilustración 1. Ubicación Central San Carlos



2.3.1 Equipos principales

Esta central está equipada por 8 turbinas Pelton, con 22 cangilones, caudal nominal de 32,7 m³/s; diámetro de 4 m; 22 toneladas de peso y potencia nominal de 160 MW, cada una operando bajo una caída media neta de 554 m 300 rpm. (ISAGEN, 2003)

2.4 CALDERAS

Esta central hidroeléctrica se encuentra ubicada entre los municipios de Granada y San Carlos en el departamento de Antioquia.

En septiembre de 1990 quedó fuera de servicio por una catástrofe natural, producida por una fuerte tormenta sobre la hoya de la quebrada La Arenosa, afectando la casa de máquinas, luego reinicio funcionamiento en 1996.

2.5 MIEL I

Está ubicada en la cuenca hidrográfica del río Miel, cerca del área urbana del municipio Norcasia.

La presa con sus 188 m de altura, se convierte en la más alta del mundo construida en concreto compactado con rodillo (CCR). Es de tipo gravedad, con rebosadero incorporado, está situado sobre el río La Miel.(ISAGEN, 2003)

Ilustración 2. Central Miel I

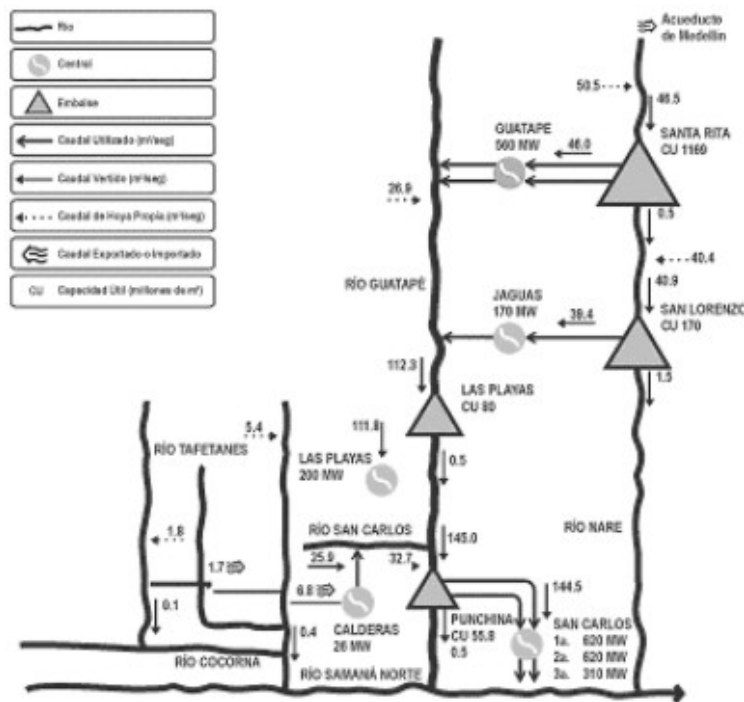


2.6 JAGUAS

La central hidroeléctrica Jaguas está ubicada en el departamento de Antioquia sobre la hoya del río Nare y Guatapapé, esta tiene una capacidad instalada de 170 Mw.

El vertedero, localizando sobre el estribo derecho de la presa, es del tipo canal abierto, de flujo no controlado, tiene un ancho variable de 50 m, de azud a 30 m, en el canal de salida, una longitud de 264 m y termina en un deflector de chorro. Está diseñado para evacuar un caudal máximo de 2070 m³/s. (ISAGEN, 2003)

Ilustración 3. Central Jaguas



La central Jaguas entró en operación comercial en 1988. El edificio administrativo fue inaugurado en 1996.

2.7 TERMOCENTRO

La planta está ubicada en el valle medio del río Magdalena, en el corregimiento de Puerto Olaya, Santander, posee una capacidad instalada de 300 Mw, conformada por dos unidades turbogeneradores a gas de 100 Mw cada una, y una unidad de vapor de 100 Mw. Entró en operación en configuración de ciclo simple en Febrero de 1997.

En 1995, como parte de la política de expansión de la Industria Eléctrica Colombiana, orientada por el Gobierno Nacional hacia la diversificación de las fuentes energéticas, y por recomendación del CONPES, se encargó a ISAGEN un proyecto de 200 Mw térmicos a gas en el Magdalena medio.

Con una inversión US\$ 82.7 millones se efectuó la conversión a ciclo combinado de la planta Termocentro, empezó la operación en Diciembre del 2000 (ISAGEN, 2003).

3. FUNDAMENTOS DE LA GENERACION DE ENERGIA

La energía es un bien básico que todas las personas de la tierra tienen derecho a tenerlo, para generar dicha energía existen empresas encargadas de la generación de energía y otras encargadas de la distribución. Para entender mejor como se genera la energía se empezara a explicar desde lo más elemental hasta la generación en sí.

La generación se da en centrales hidráulicas, térmicas, eólicas, solares y nucleares, cada una de ellas con especificaciones y estructuras complejas y diferentes las cuales se tienen que tener en cuenta a la hora de evaluar una zona donde se quiera adelantar un proyecto tan grande como una central eléctrica. A continuación se mostraran diferentes esquemas de las centrales.

Ilustración 4. Esquema Central Hidroeléctrica

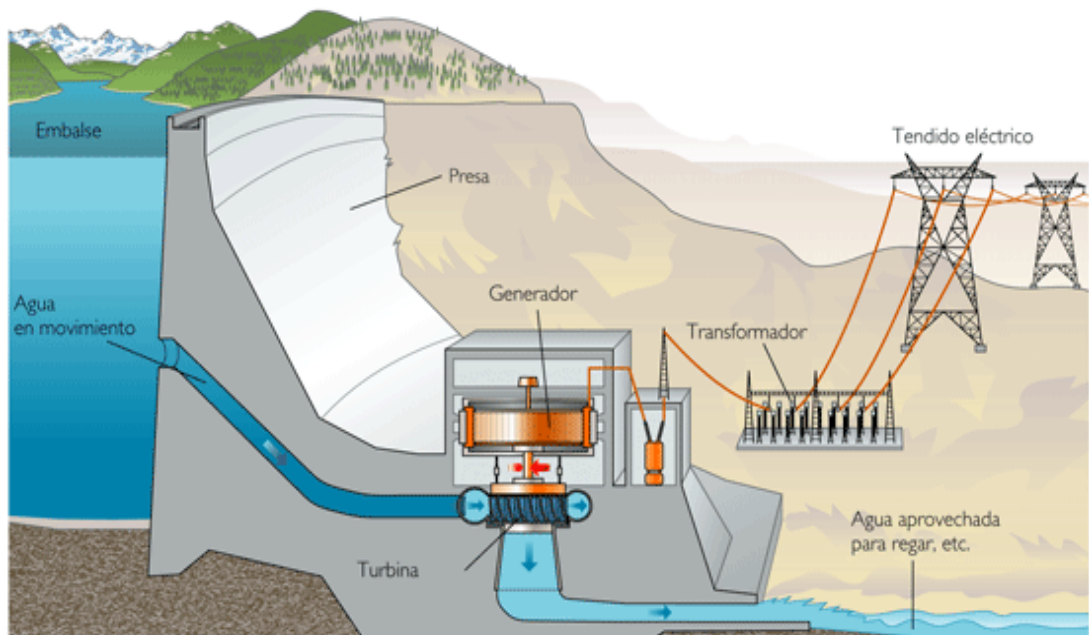


Ilustración 5. Esquema Central Térmica

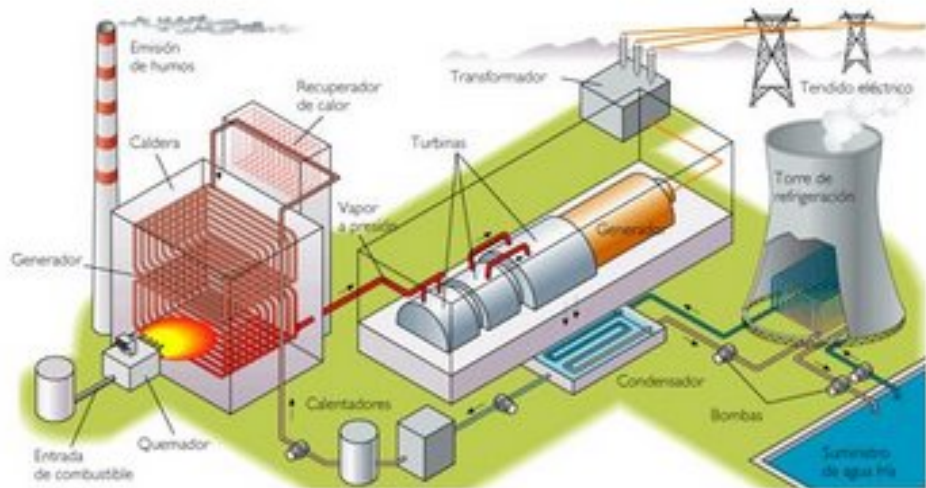


Ilustración 6. Esquema Central Eólica

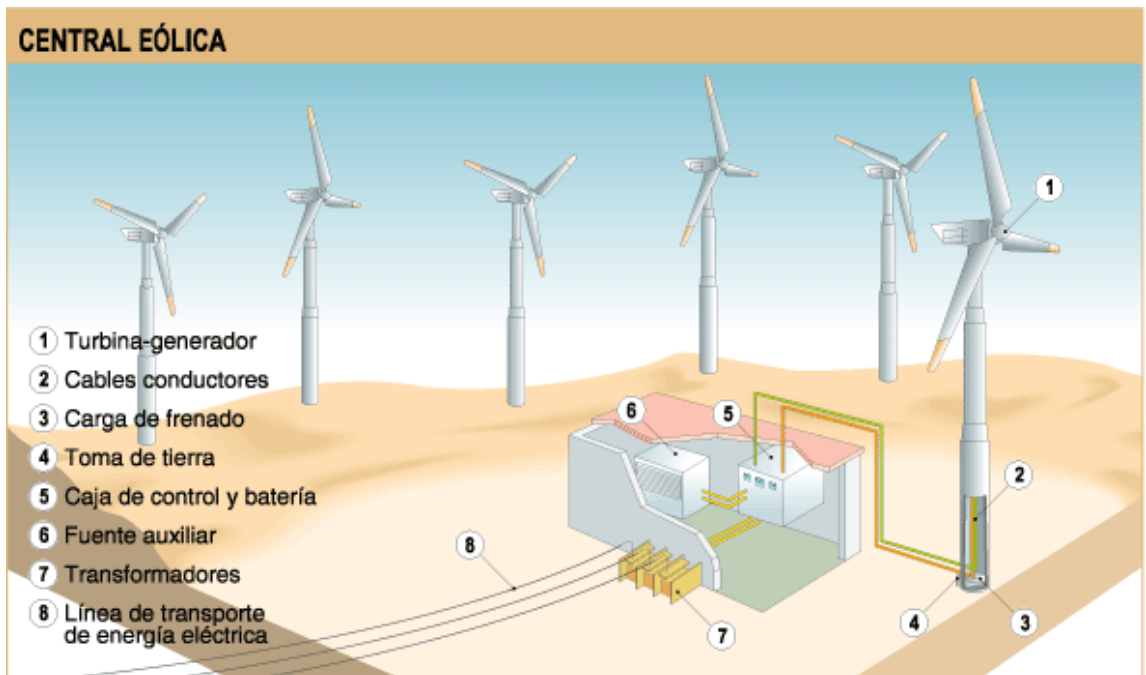
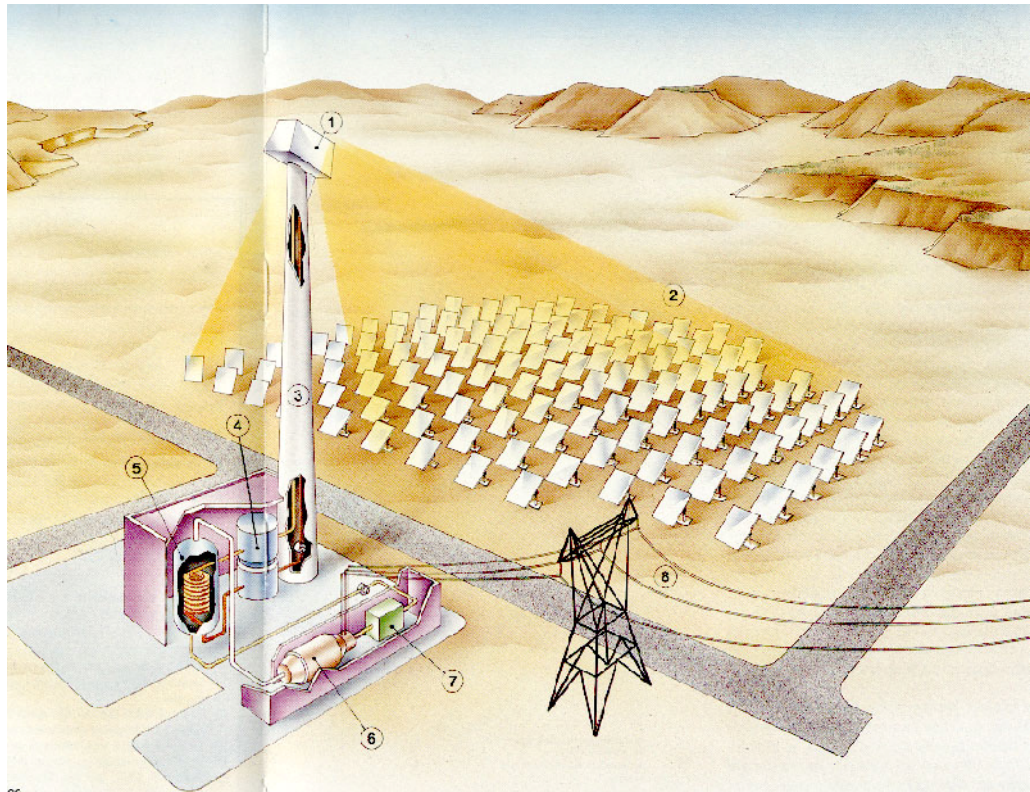


Ilustración 7. Esquema Central Solar



Para generar energía se tienen que tener conceptos básicos de electrotecnia, como lo son: Circuitos, voltaje, corriente, resistencia etc. Pero lo principal es conocer la ley de Faraday la cual es el fundamento de la generación de energía esta dice “Cuando se mueve un conductor eléctrico (hilo metálico), en el seno de un campo magnético (imán o electroimán) aparece una corriente eléctrica por dicho conductor. Lo mismo ocurre si se mueve el imán y se deja fijo el conductor”.

Cuando se trata de un generador eléctrico lo que se hace es poner en movimiento rotativo bobinas que giran en las proximidades de campos magnéticos producidos por imanes o electroimanes(Miguel, 2002)

En la generación de energía, existen diferentes equipos que se pueden clasificar entre críticos y periféricos, los primeros son aquellos que afectan directamente la operación normal de una central, y los segundos son los que no inciden en un mayor nivel en el desempeño de la misma.

Dentro de los equipos críticos se tiene una línea que va desde la turbina hasta los transformadores de potencia, pasando por el generador, estos son la parte fundamental de la generación de la energía, además de ser los que mayor tamaño, peso y costo tienen dentro de todos. Por esta razón es importante mantener en buen estado y funcionamiento dichos equipos, teniendo un control y monitoreo constante de ellos.

Como se mencionó anteriormente el generador es un equipo crítico por lo que es fundamental en el proceso de generación. Este es utilizado en todo tipo de centrales (Hidráulicas, térmicas, eólicas, etc.).

Para continuar con la ruta crítica de equipos se mencionan y se explican cada uno de ellos con imágenes y detalles.

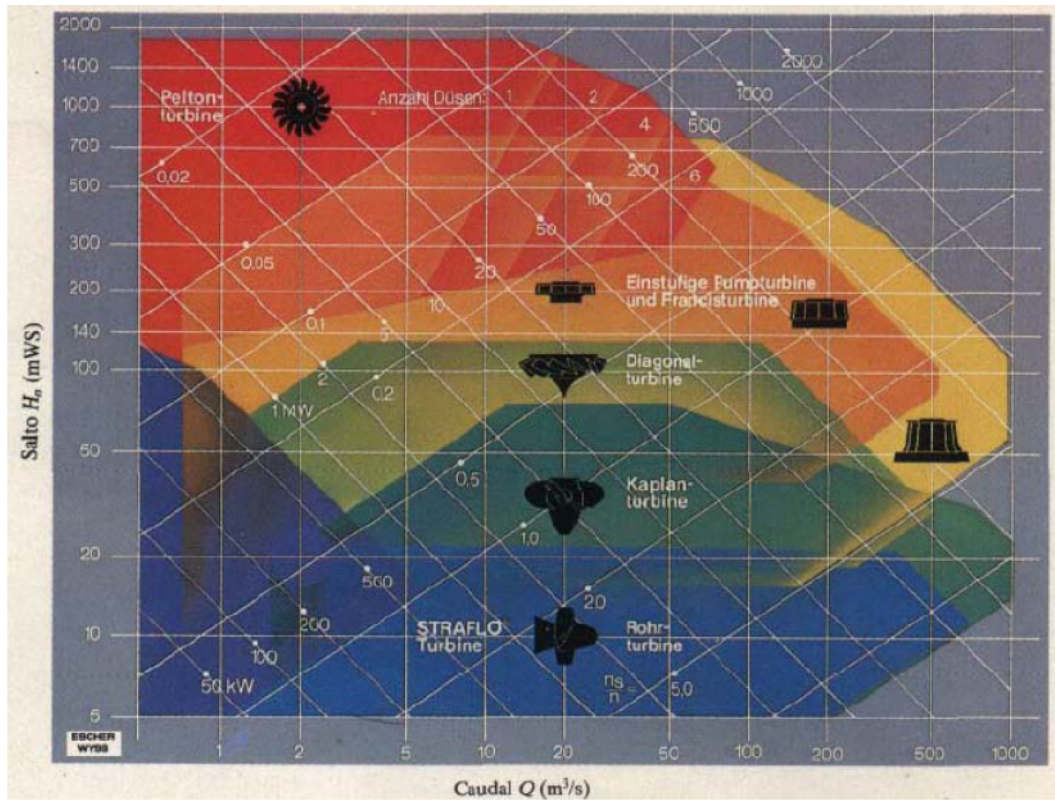
3.1 TURBINA

Es el primer equipo en la ruta crítica de generación de energía, tiene un alto costo, y es de gran tamaño y peso. Es la máquina que recibe el agua luego de ser conducida por túneles de conducción desde la bocatoma el cual es el lugar por donde se capta el agua hasta el recinto de turbina en el cual se encuentran inyectores o alabes y la misma turbina (Arroyave, 2009).

Existen diferentes tipos de turbinas, Pelton, Francis y Kaplan, se seleccionan de acuerdo a la caída del agua, su forma y aplicación son diferentes, cada una tiene sus características especiales, pero su función es la misma, la de generar

movimiento por medio del agua que choca contra los cangilones o aspas, al eje que está conectado con el generador.

Ilustración 8. Gráfico de la selección de turbina



3.1.1 Turbinas Pelton

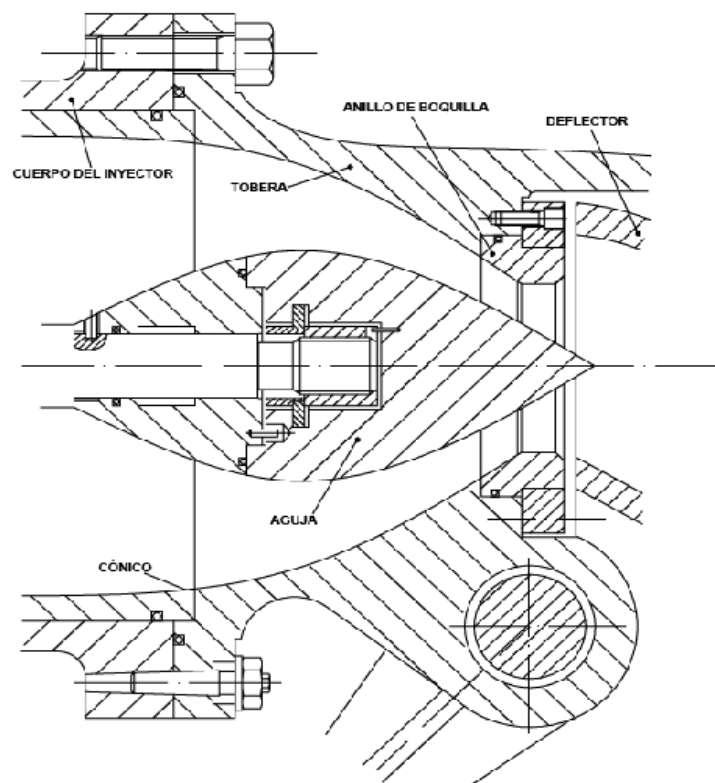
La turbina Pelton se utiliza en centrales hidráulicas que tienen una caída de agua muy alta, poseen unos cangilones de gran tamaño donde choca el agua, y están compuestas por un distribuidor, rodete, carcasa, cámara de descarga y eje (Arroyave, 2009).

3.1.1.1 Distribuidor de la turbina Pelton

Está compuesto por la cámara de distribución e inyectores, lo cuales se conforman de servomotores, toberas, válvulas de agujas, deflectores y dispositivos mecánicos para su accionamiento.

Su función es la de direccionar el chorro de agua hacia el rodete y regular la cantidad de agua, el número de chorros alrededor del rodete depende de la potencia y características del diseño.

Ilustración 9. Inyector



3.1.1.2 Rodete

En si en la misma turbina donde se transforma la energía hidráulica del agua en energía cinética, se compone de la rueda motriz la cual esta acoplada al eje, y de cangilones, alabes palas o cucharas.

Para dimensionar el rodete se tienen que tener en cuenta una seria de variables como lo son la velocidad periférica, velocidad específica, radio, forma del cangilón y demás variables que son importantes para el diseño de una de ellas (Arroyave, 2009).

Ilustración 10. Rodete



3.1.2 Turbinas Francis

En este tipo de turbinas el agua fluye de la tubería de presión al sistema de distribución a través del caracol que se ubica alrededor del sistema de distribución, son utilizadas en caídas del agua de un medida media como se ve en la gráfica de selección de turbina.

Están compuestas por un caracol o cámara espiral, el anillo fijo, alabes fijos y móviles, rodete, eje y tubo de aspiración.

3.1.2.1 Caracol o cámara espiral

Constituye el ducto alimentador de agua al rodete, es de sección circular y diámetro decreciente. Rodea al rodete y entrega el agua suficiente para la operación. El agua pasa del caracol al distribuidor guiada por unas paletas direccionales fijas a la carcasa.

3.1.2.2 Distribuidor

El sistema posee una parte estacionaria denominada anillo fijo y los alabes fijos. Los alabes móviles en forma de persiana vertical y circular guían el agua hacia el rodete. La apertura de los alabes puede ser graduable por medio de un anillo localizado en la parte superior y accionado por un servomotor hidráulico. En el distribuidor se transforma la energía de presión en energía cinética.

3.1.2.3 Rodete

Es en si la misma turbina o cuerpo motriz, posee alabes que están adosados a un disco perpendicular al eje de la máquina. En él se distingue la corona, la banda, y los alabes curvados.

3.1.2.4 Tubo de aspiración

También denominado difusor o tubo de desfogue, consiste en una conducción en forma de sifón que une la turbina con el canal de descarga. Tiene como función recuperar el máximo de energía cinética del agua a la salida del rodete.

A la salida del rodete se obtiene una presión menor que la atmosférica y por lo tanto un gradiente de presión dinámico mayor a través del rodete (Arroyave, 2009).

Ilustración 11. Turbina Francis



3.1.3 Turbinas Kaplan

No son utilizadas en ISAGEN, debido a que la caída de agua de las centrales no es la adecuada para la utilización de dicha turbina.

Ilustración 12. Turbina Kaplan



3.2 GENERADOR

Las centrales térmicas son las segundas en porcentaje de participación en el país, dentro de ellas está el generador el cual es impulsado por combustible, ya sea líquido, gas o carbón. Se aclara que en las centrales hidráulicas también hay generadores.

La principal función de un generador es la de convertir energía mecánica producida ya sea por un turbina que es movida por una caída de agua, o por una turbina que es movida por un caudal grande de combustible entre otros, en energía eléctrica. Estos son muy similares a un motor con la diferencia que el motor hace la conversión contraria al generador.(Harper, 2004)

Ilustración 13. Generador



Para su funcionamiento u operación, se basa en el principio de la inducción, el cual propone que “el voltaje se puede inducir en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético, esto sucede cuando el flujo magnético se corta por el conductor”(Harper, 2004).

Los componentes principales de un generador son:

- Estator
- Rotor
- Sistema de enfriamiento
- Excitatriz
- Conmutador

En la unidad se encuentran 3 cojinetes, el cojinete guía inferior, cojinete guía superior y cojinete guía turbina, ellos están encargados de mantener el eje que una la turbina con el generador de forma vertical y firme para que no ocurran desbalances (Arroyave, 2009).

Ilustración 14. Disposiciones de los cojinetes

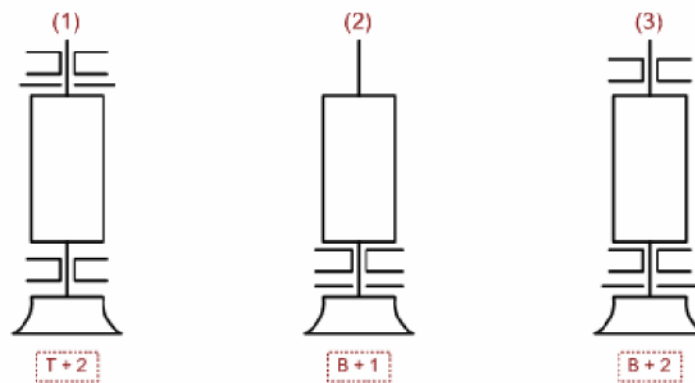
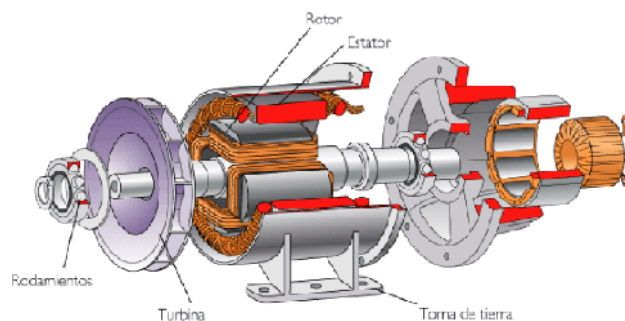


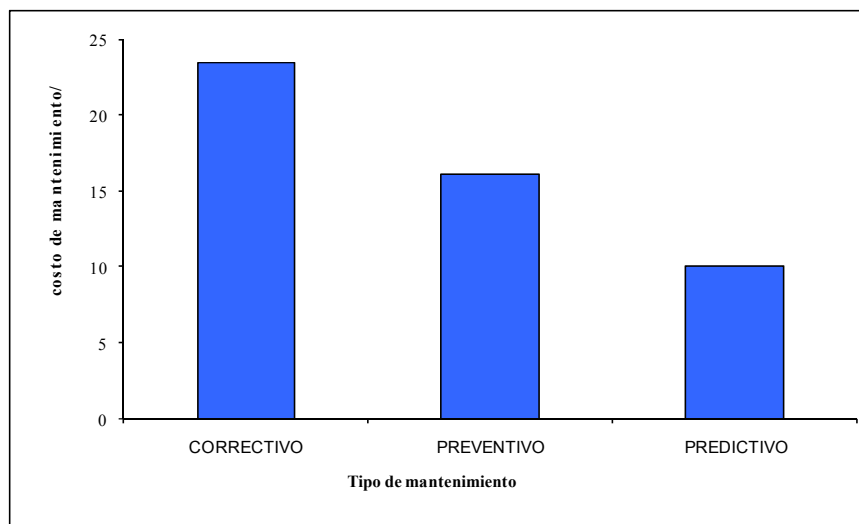
Ilustración 15. Esquema Generador



4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Las centrales hidroeléctricas que posee ISAGEN S.A ESP, se emplean tres tipos de mantenimiento, el correctivo, el preventivo y el predictivo, enfocándose en este último debido a su menor costo. Cuando hay un error humano, mala programación, o simplemente falla una maquina por diversas razones, se presenta un mantenimiento correctivo, este tipo de mantenimiento es el que eleva más los costos. Por ser un mantenimiento programado el preventivo ayuda a encontrar una tendencia a la falla antes de que ocurra, pero no es la forma más óptima en sentido costo beneficio(Sarmiento, 2005).

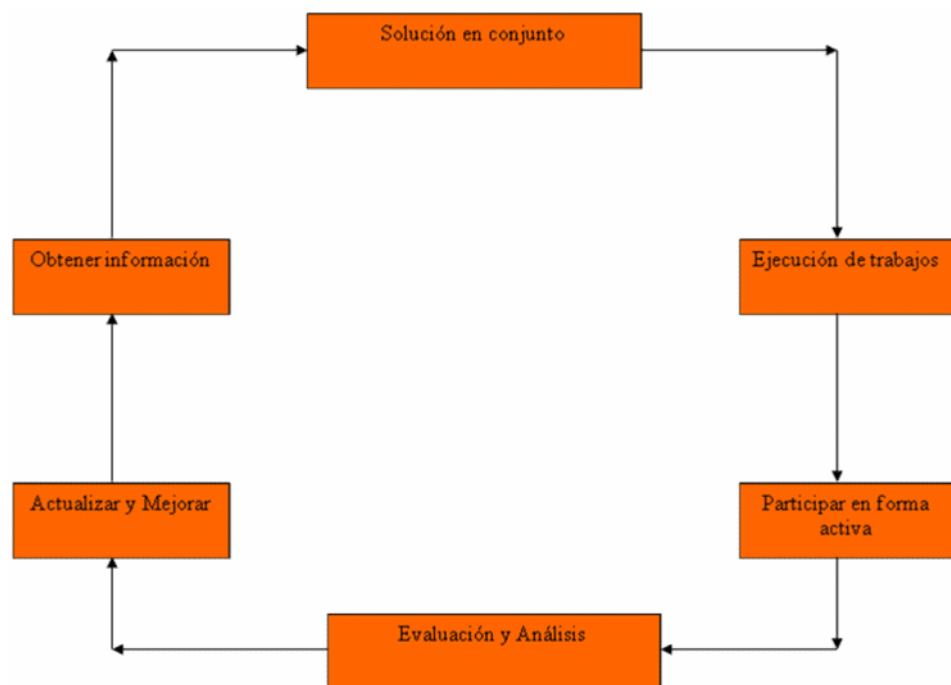
Ilustración 16. Costos de los diferentes tipos de mantenimiento



Existen diferentes técnicas para el mantenimiento predictivo, las más comunes son:

- Análisis de vibraciones/ monitoreo de vibraciones
- Métodos de impulso excitador
- Inspección infrarroja
- Ensayo ultrasónico
- Termografía
- Resistencia térmica (prueba en mego metro)
- Medición de temperatura
- Análisis de rayos x

Ilustración 17. Estructura mantenimiento predictivo



La definición de mantenimiento predictivo es “técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una maquina”, con esto se podría identificar el momento de falla del equipo y así tomar acciones antes de que suceda dicho evento.

Ilustración 18. Mantenimiento predictivo



Existen diferentes técnicas para tomar mediciones en un mantenimiento predictivo, dentro de ellas están el análisis de vibraciones, termografía, análisis de espesores, análisis de lubricaciones, ultrasonido, líquidos penetrantes etc. Estos son técnicas costosas pero una buena puesta en marcha de un plan de este tipo, ahorrara dinero a las empresas, ya que en caso de un daño de alguna maquina al reemplazarla sería más costoso que haberle aplicado alguna de las técnicas anteriormente mencionadas. (Prisma, 2001)

4.1 INSPECCIÓN INFRARROJA

Esta técnica permite detectar sin contacto físico con el elemento bajo análisis, cualquier falla que se manifieste es un cambio en la temperatura sobre la base de medir los niveles de radiación dentro del espectro infrarrojo.

La termografía infrarroja juega cada vez un papel muy importante en el mantenimiento. Esta técnica de producir imágenes a partir de la radiación térmica que emiten los objetos, sirve a los encargados del mantenimiento de realizar la tarea en dos aspectos:

- Es un medio que sin contacto alguno, permite identificar los componentes eléctricos y mecánicos más calientes de lo que deberían estar. En general una falla electromecánica antes de producirse se manifiesta generando e intercambiando calor, este calor se traduce habitualmente en una elevación de temperatura que puede ser súbita, pero por lo general y dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestar pequeñas variaciones, e indica también pérdidas excesivas de calor que usualmente son síntomas de aislamiento defectuosa o inadecuada.
- Su empleo proporciona una reducción en los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de detenciones imprevistas o programadas. En cuanto a la reducción de costos, el empleo de esta tecnología consigue ahorros en energía eléctrica una protección adecuada de equipos valiosos, velocidad de inspección y diagnóstico, y lo más importante evita las pérdidas de producción ocasionadas por paradas imprevistas. (Sarmiento, 2005)

4.1.1 Espectro infrarrojo

Todo equipo y/o elemento emite energía desde su superficie. Esta energía se transmite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o cualquier otro medio de conducción.

La cantidad de energía está en relación directa con su temperatura. Entre más caliente está el objeto, más tiende a radiar.

La diferencia entre un cuerpo caliente y uno frío es el grado en el cual ambos cuerpos emiten energía y absorben energía. Si el objeto absorbe más energía que

la que radia se le considera frío. Si el objeto emite más energía de la que absorbe se considera caliente.

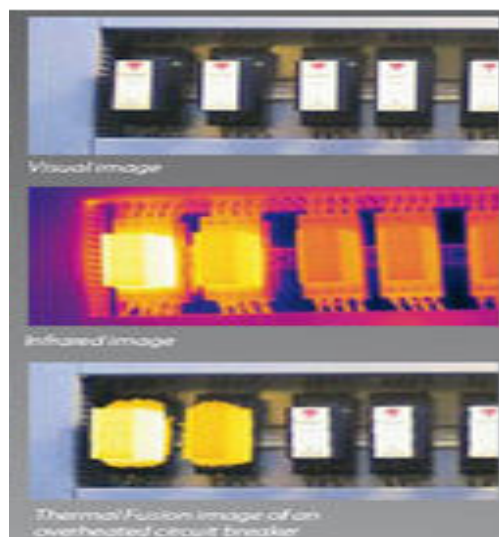
Esta es la energía infrarroja, la cual invisible al ojo humano, pero a través de equipos apropiados, “cámaras de termografía” podemos ver esta energía y transformarla en imágenes visibles.(Sarmiento, 2005)

4.1.1.1 Mantenimiento de equipos eléctricos

La inspección termográfica en sistemas eléctricos tiene como objetivo detectar componentes defectuosos basándose en la elevación de temperatura como consecuencia de un aumento anormal de su resistencia óhmica. Las posibles causas son:

- Conexiones flojas
- Conexiones afectadas por corrosión
- Suciedad en conexiones y/o contactos.

Ilustración 19. Ejemplo termografía



4.2 RESISTENCIA TERMICA

El Megóhmetro megger es un aparato que permite establecer la resistencia de aislamiento existente en un conductor o sistema de tierras. Funciona en base a la generación temporal de una sobre corriente eléctrica la cual se aplica al sistema hasta que se rompe su aislamiento, al establecerse un arco eléctrico.

El Megger es un instrumento del tipo de los Ohmímetros, en el que el valor de la resistencia que se mide se registra directamente sobre una escala y esta indicación es independiente de la tensión. Consta de dos partes principales:

- Un generador de corriente continua de tipo magnetoeléctrico, movido generalmente a mano o electrónicamente (Megger digital), que suministra la corriente para llevar a cabo la medición
- Y el mecanismo del instrumento por medio del cual se mide el valor de la resistencia que se busca.

El Megóhmetro tiene dos imanes permanentes rectos, colocados paralelamente entre sí. El inducido del generador, junto con sus piezas polares de hierro, está montado entre dos de los polos de los imanes paralelos, y las piezas polares y el núcleo móvil del instrumento se sitúan entre los otros dos polos de los imanes.

El inducido del generador se acciona a mano, regularmente, aumentándose su velocidad por medio de engranajes. Para los ensayos corrientes de aislamiento, la tensión que más se usa es la de 500 voltios, pero con el fin de poder practicar ensayos simultáneos a alta tensión, pueden utilizarse tensiones hasta 2500 voltios.

4.3 VIBRACIONES MECÁNICAS

El análisis de vibraciones, es una de las técnicas más utilizadas, dentro de las empresas, ya que aporta en un alto grado a tener en buena operación de las máquinas y equipos. Este análisis se le practica a todo tipo de máquinas debido a que su operación genera vibraciones dentro de ellas, las cuales no son percibidas por el sentido humano, y se ve la necesidad de tener claro cuáles son las magnitudes de dichas vibraciones, porque pueden ocasionar daños de gran magnitud, y de lo que se trata es de reducirlas al máximo.

Es el movimiento de una película o de un cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio.

Al intervalo de tiempo necesario para que el sistema efectúe un ciclo completo de movimiento se le llama periodo de la vibración. El número de ciclos por unidad de tiempo define la frecuencia del movimiento y el desplazamiento máximo del sistema desde su posición de equilibrio se llama amplitud de la vibración.

Básicamente las causas de las vibraciones mecánicas se encuentran estrechamente relacionadas con tolerancias de mecanización, desajustes, movimientos relativos.

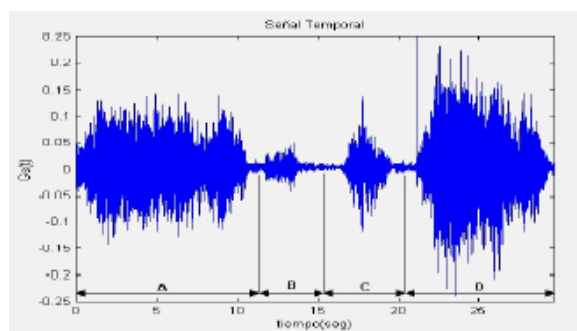
La mayor parte de vibraciones en máquinas y estructuras son indeseables porque aumentan los esfuerzos y las tensiones y por las pérdidas de energía que las acompañan. Además, son fuente de desgaste de materiales, de daños por fatiga y de movimientos y ruidos molestos.(Sarmiento, 2005)

Todo sistema mecánico tiene características elásticas, de amortiguamiento y de oposición al movimiento; unas de mayor o menor grado a otras; pero es debido a

que los sistemas tienen esas características lo que hace que el sistema vibre cuando es sometido a una perturbación.

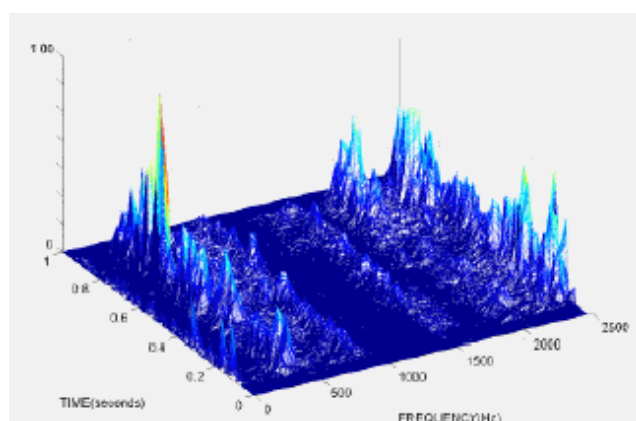
Si la perturbación tiene una frecuencia igual a la frecuencia natural del sistema, la amplitud de la respuesta puede exceder la capacidad física del mismo, ocasionando su destrucción.

Ilustración 20. Ejemplo gráfico vibraciones



Teniendo en cuenta un análisis de vibraciones, y tomando datos de cada una de las variables que arroja el análisis, se pueden desarrollar diferentes métodos para realizar actividades en equipos que tengan algún tipo de problema o dificultad, como el balanceo de generadores.

Ilustración 21. Espectro de vibraciones

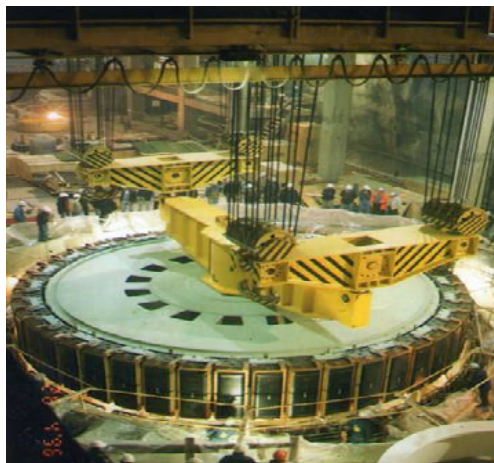


Los generadores tienen problemas de vibraciones, por lo que se desbalancean, y producen mal funcionamiento en el resto de equipos acoplados a ellos, por esto se debe corregir dicho desbalanceo de manera eficaz y eficiente, esto se puede lograr con una metodología que más adelante se diseñara y se plasmara.

Ilustración 22. Generador central jaguas



Ilustración 23. Rotor



5. BALANCEO DE GENERADORES

Como se mencionó en el capítulo 3, los generadores son parte vital de una central eléctrica, por lo que deben permanecer en perfectas condiciones y monitoreado las 24 horas del día, por si se detecta alguna falla o anomalía se pueda corregir lo más pronto posible.

Uno de los problemas que puede afectar a la generación, es que exista un desbalanceo en el generador, lo cual es algo que se debe corregir rápido debido a que es posible que se averíe y los gastos tengan una magnitud muy alta. Por esto se diseñara una metodología para el balanceo, siguiendo un paso a paso de los puntos importantes a la hora de realizarlo.

5.1 METODOLOGÍA

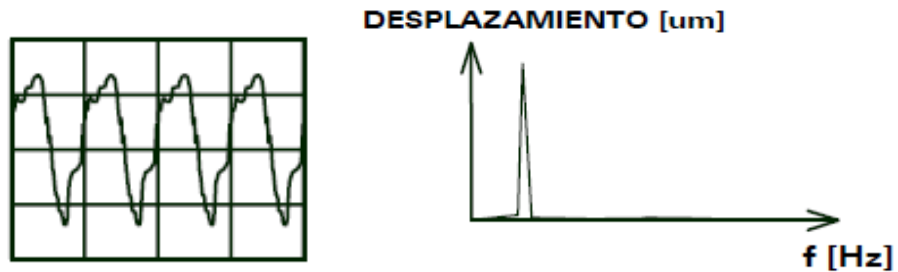
5.1.1 Selección de sensores

La selección de los sensores a utilizar es de mucha importancia, ya que existen diferentes tipos para diferentes mediciones de variables, entre ellos están los sensores de desplazamiento, sensores de velocidad y acelerómetros, cada uno de ellos mide una variable diferente, distancia, velocidad y aceleración respectivamente.

5.1.1.1 Sensor de Desplazamiento

La medida en desplazamiento (mm ó μm en SI, mils en S. Inglés) es importante para reconocer patrones que están a muy baja frecuencia. Los picos de vibración que están al comienzo del espectro son mejor resaltados. Esta es una medida especial para hallar anomalías en chumaceras de aceite, muy utilizadas en turbomaquinaria además de los ejes de los generadores.

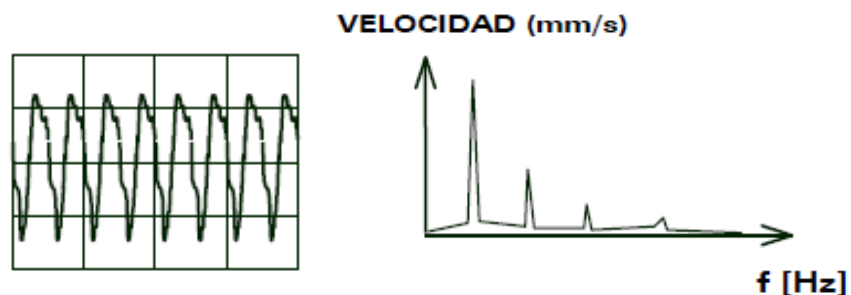
Ilustración 24. Espectro y señal de vibración desplazamiento



5.1.1.2 Sensor de Velocidad

La medida en velocidad (mm/s en SI, in/s en S. Inglés) permite reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente, como por ejemplo desalineación, holgura mecánica, fricciones abrasivas, resonancias, pulsaciones, engranajes de pocos dientes, sistema de poleas, aspas de bombas y ventiladores. Esta variable de velocidad es importante para resaltar picos de bajas y medias frecuencias.

Ilustración 25. Espectro y señal de vibración velocidad

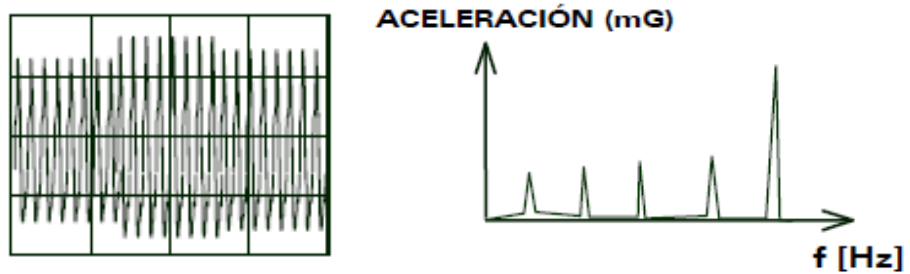


5.1.1.3 Sensor de Aceleración (Acelerómetro)

La medida en aceleración (mG o G en ambos sistemas de medición) permite reconocer patrones asociados a contactos metal-metal y fricciones abrasivas, problemas en engranajes, cavitación, entre otros. Esta variable resalta picos de vibración de medias y altas frecuencias, y es muy utilizada para la detección

prematura de fallas en chumaceras y rodamientos, y otros componentes como engranajes.

Ilustración 26. Espectro y señal de vibración aceleración



Para el balanceo de generadores se deben utilizar los sensores de desplazamiento ya que la necesidad que se tiene es de medir distancias, para poder observar en cuanto está desbalanceado el generador.

Luego de seleccionar el sensor, se deben montar para realizar las respectivas mediciones y poder determinar con una serie de datos si se tiene desbalanceo o no, o si es algún otro fenómeno.(maq, 2005)

5.1.2 Análisis espectral

Para el análisis espectral se debe tener gráficamente una cantidad de datos tomados por los sensores de desplazamiento, los cuales nos muestran una gráfica sinusoidal la cual está en el dominio del tiempo, y que por sí sola no se le puede extraer mayor información, por lo cual se requiere pasar al dominio de la frecuencia y así poder realizar un análisis espectral.

5.1.2.1 La transformada de Fourier

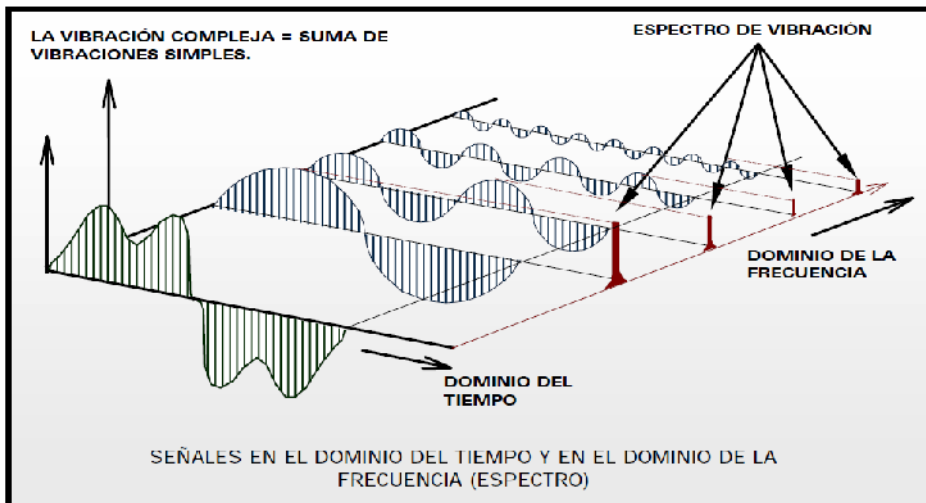
Por medio de la transformada de Fourier se puede pasar al dominio de la frecuencia y tener una gráfica amplitud VS frecuencia la cual es llamada espectro donde se puede tener un análisis claro de la máquina.

Ecuación 1. Transformada de Fourier

$$\mathcal{F}\{f\} : \xi \mapsto \hat{f}(\xi) := \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i \xi x} dx,$$

Lo que se trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, luego calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia.

Ilustración 27. Espectro



Con el espectro graficado, se realiza un análisis profundo para identificar una serie de fallas que pueden estar asociadas a la máquina, estas señales se van enumerando de la siguiente manera y cada una de ellas representa una anomalía de diferente forma: 1X, 2X, 3X.....NX. Siendo 1X la señal que nos indica un desbalanceo la cual es la que interesa en esta metodología.(maq, 2005)

Ilustración 28. Gráfica dominio del tiempo

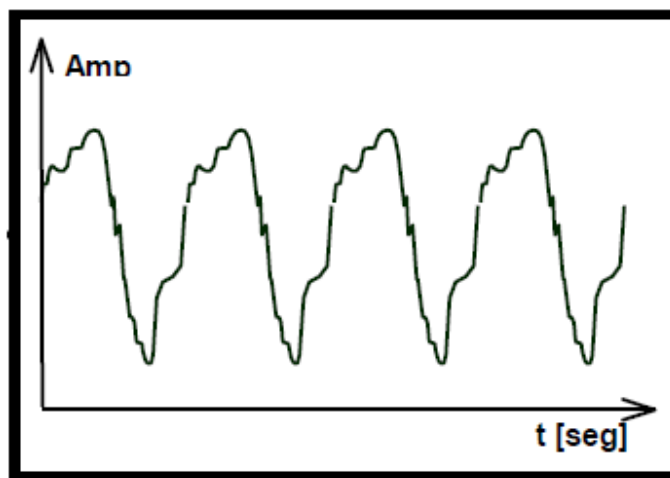
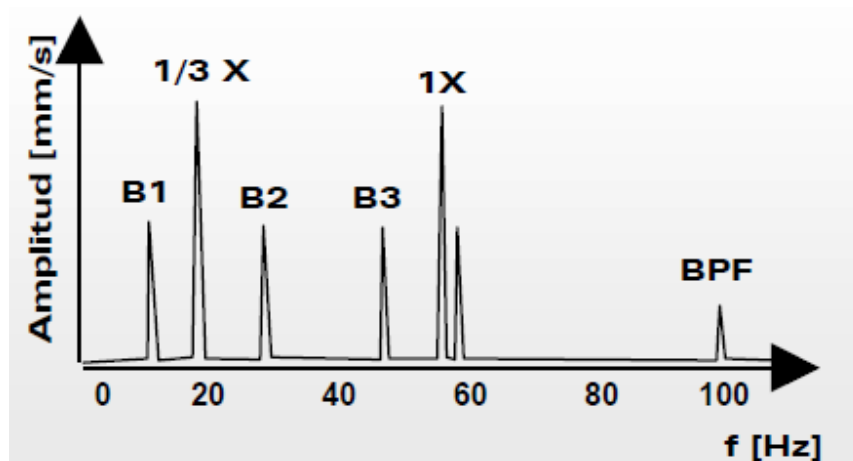


Ilustración 29. Gráfica espectro



5.1.3 Relación de esbeltez

Para seguir con el análisis y balanceo de los generadores se debe tener en cuenta la relación de esbeltez del eje del generador ya que con ella se puede saber las revoluciones máximas a las cuales se pueden tomar mediciones para el balanceo.

De acuerdo a la siguiente formula se encuentra la relación de esbeltez (Re), con la que también se puede determinar si el eje es rígido o flexible.

Ecuación 2. Relación de esbeltez

$$Re = \frac{KL}{Rmin} \quad , \quad Rmin = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Tabla 2. Variables formula Relación de esbeltez

Nombre variable	Variable
Relación de Esbeltez	Re
Constante	K
Longitud de eje	L
Radio mínimo de giro	Rmin
Inercia	I
Área transversal	A

5.1.4 Sensibilidad de la máquina

Los generadores de ISAGEN operan normalmente con una holgura mínima la cual se debe mantener, esta se modifica de acuerdo a pesos que se incrementan o disminuyen para realizar balanceos cuando se exceda la magnitud límite de operación normal y sin fallas.

En el balanceo se utilizan pesos de prueba, para determinar en qué lugar se tienen el desbalanceo, pero no es posible utilizar cualquier peso ya que de acuerdo a la sensibilidad del generador se aumenta el peso o no.

Si se pone un peso exagerado puede ocurrir que el desbalance sobrepase la tolerancia y de averíe el generador lo cual trae unos costos muy significativos, por esto se debe saber más o menos la magnitud del peso de prueba que se pondrá en el generador para realizar el balanceo.

La sensibilidad de la máquina, en este caso un generador se puede determinar de acuerdo a una fórmula que me dice con cuanto peso, cuanta distancia se moverá el generador, (esta distancia esta medida en micrones).

Ecuación 3. Sensibilidad de la maquina

$$M_{prueba} = 30 * \frac{M_{rotor}}{r_{rotor}}$$

Donde M_{rotor} es el peso del rotor y r_{rotor} es el radio del rotor.

5.1.5 Realización de mediciones

Todos los generadores están monitoreados en línea las 24 horas del día, de ahí que se toman los siguientes datos de acuerdo a diferentes modos de operación del generador.

Los datos a tener en cuenta son:

- Se pone a girar el generador en vacío, lo que significa que no está excitado ni con carga, para tomar registros de fase y amplitud, y determinan una vibración mecánica. Ej. 30 grados, 180 micrones.
- Se excita el generador para tomar registros, y conseguir vibraciones electromecánicas.
- Se toman registros con la maquina cargada o generando.

De acuerdo a los registros tomados, se hace el siguiente análisis:

Se analiza la variación de la fase en las 3 modos, si la diferencia no es mayor al 5% entre las fases, se considera que es un desbalanceo mecánico, si por el contrario es mayor al 5% se puede decir que es un polo en corto.

En el caso de ser un polo en corto se debe proceder de la siguiente manera para identificar la zona del polo que está fallando.

Con las mediciones que se tomaron anteriormente (en vacío y excitado), se grafican como vectores en un plano para encontrar las componente mecánica (tomada con la maquina en vacío), y la resultante electromecánica (tomada con la maquina excitada), así, se calcula el vector faltante que es un componente eléctrica la cual se proyecta en el centro del plano dando una dirección que muestra una zona aproximadamente de 3 polos en los cuales esta el corto.

Este procedimiento ahorra el desmontaje de todos los polos, lo cual hace que se realice en menos tiempo y menos costo.

5.1.6 Cálculo de ubicación y magnitud del peso final

Para el cálculo del peso final a poner en el rotor, se debe tener claro un peso de prueba ($(me)_p$) que se obtuvo en el momento de analizar la sensibilidad de la máquina, y los valores que se tomaron sin peso de prueba (V_0) y con peso de prueba (V_1), para encontrar una resultante (V_x), (solo se toma el valor de la amplitud), con estos valores y la siguiente formula se determina el peso que se debe poner en el rotor del generador. (Casanova, 2005)

Ecuación 4. Peso final

$$(me)_0 = (me)_p \frac{|V_0|}{|V_x|}$$

Luego de tener el valor del peso final, se debe saber en qué lugar del rotor se pondrá, para no tener que empezar a realizar un procedimiento de prueba y error, hasta encontrar el lugar preciso, para esto se debe tener en cuenta, las fases que se obtuvieron antes del peso de prueba (θ_0), y después (θ_1), para encontrar los siguiente valores de fase y la fase final donde se ubicara el peso final (α_0):

Ecuación 5. Ubicación peso final

$$\alpha_p + \phi = \theta_x \quad \alpha_0 + \phi = \theta_0$$

$$\alpha_0 = \theta_0 - \theta_x + \alpha_p$$

Hay que tener en cuenta que (Φ) es igual a 180 grados.

Con los valores encontrados anteriormente, de peso final y ubicación, se ubica en el rotor dicho peso, y se procede a tomar mediciones para verificar que el generador está totalmente balanceado y en condiciones óptimas para operar. (Casanova, 2005)

6. EJEMPLO PRÁCTICO

Para tener una mejor claridad de cómo se debe realizar el procedimiento mencionado en el capítulo anterior, se procederá a realizar un ejemplo práctico del balanceo de un generador, para esto se tomaron datos ficticios ya que no es posible tener datos reales debido a su confidencialidad.

A continuación se mostrara el ejemplo práctico de cómo se debe realizar un balanceo, con su informe correspondiente:

6.1 BALANCEO GENERADOR CENTRAL JAGUAS

Se tomaron registros y análisis de vibraciones, a la unidad 2, de la Central de Jaguas, para realizar balanceo al rotor de dicha unidad, con el fin de ajustar el generador luego de que se hicieran modernizaciones en la central, además de evaluar la amplitud de la vibración radial de los cojinetes que soportan el eje del generador.

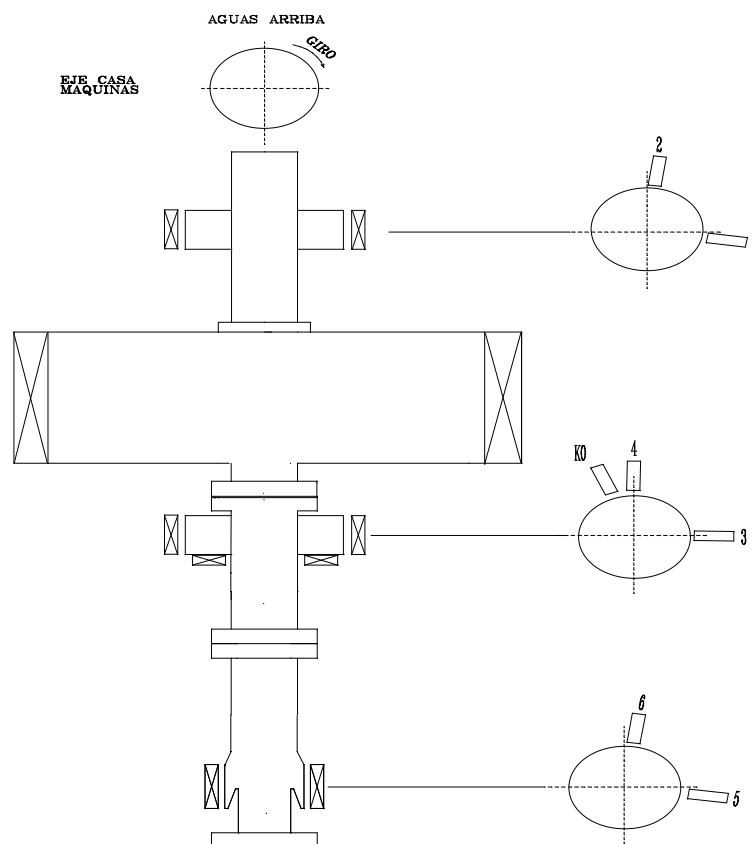
Ilustración 30. Rotor Jaguas



Como se hace referencia en el capítulo anterior se debe empezar escogiendo de manera adecuada los sensores a utilizar, para poder definir bien si el problema que tiene el generador es de desbalanceo de acuerdo a las señales emitidas, y luego del análisis espectral.

Los sensores que se utilizan son sensores de desplazamiento, en total se necesitan 6 por recomendación de la norma ISO 7919 – 1 en el anexo C parte C.1 y están dispuestos de la siguiente manera:

Ilustración 31. Esquema disposición de sensores



Para empezara analizar las mediciones que emiten los sensores, hay que tener claro que existen unos valores normales de vibración que están determinados de acuerdo a la norma ISO 7919 – 5 anexo A, que recomienda valores hasta 235 micrómetros, si se excede este número, y si de acuerdo al análisis espectral se observa un pico en el 1X (Desbalanceo), se debe proceder al balanceo.

Luego de realizar mediciones, continuar con la transformada de Fourier y hacer un análisis espectral se obtienen los siguientes resultados:

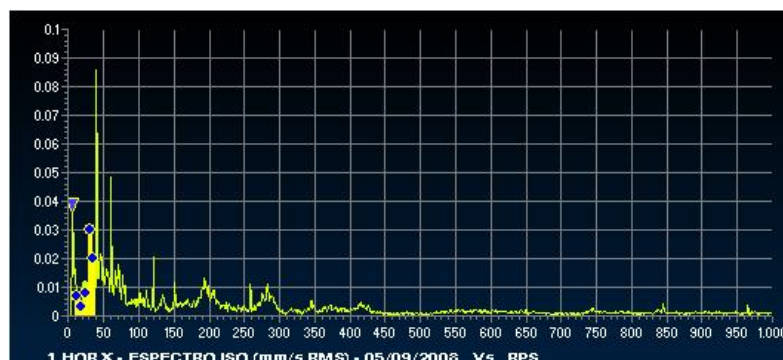
Tabla 3. Datos vibración condición inicial

		CGSX	CGSY	CGIX	CGIY	CGTX	CGTY
CONDICIÓN INICIAL	VIBRACIÓN TOTAL	155	154	243	257	203	230
	FASE (GRADOS)	30	33	36	31	34	33

Valores de amplitud en μm

Del análisis espectral se deduce que el rotor del generador esta desbalanceado ya que muestra un pico pronunciado en la variable 1X, con lo cual se debe proceder al balanceo.

Ilustración 32. Espectro



Se debe determinar las revoluciones a las cuales se realizará el balanceo. De acuerdo a la relación de esbeltez del eje del rotor, se dice que es rígido y se balanceara a 300 revoluciones por minuto.

Ahora se selecciona un peso de prueba aproximadamente de 6,2 Kg, los cuales aseguran que la maquina no se desbalanceara tanto, como para que se choque el rotor con el estator y producir un daño, este valor es obtenido luego de analizar la sensibilidad de la máquina, y se toman mediciones.

Tabla 4. Datos vibración condición media

		CGSX	CGSY	CGIX	CGIY	CGTX	CGTY
CONDICIÓN PESO DE PRUEBA	VIBRACIÓN TOTAL	150	152	230	232	190	205
	FASE (GRADOS)	32	31	37	32	33	30

Valores de amplitud en μm

Se realizan las 3 mediciones con el peso de prueba (en vacío, excitada, con carga), y se obtienen 3 valores de fase, los cuales no alcanzan una diferencia entre ellos del 5%, por lo cual se obtiene que es un desbalanceo mecánico.

Con los datos obtenidos en condición inicial y condición media, se procede a calcular el peso final y su ubicación, esta es muy importante ya que no hay que ponerse a realizar pruebas en cada uno de los polos que en total son 24, si no que se tiene la ubicación exacta lo cual ahorra tiempo y trabajo, los siguientes resultados son:

Tabla 5. Resultado final

PESO FINAL	6 kg
UBICACIÓN FINAL	180 + 30

Luego de poner el peso en el rotor, se procede a verificar que el balanceo está bien hecho, con mediciones de vibración, las cuales deben haber disminuido y estar alejadas del límite de vibración, los resultados son los siguientes:

Tabla 6. Datos vibraciones condición final

		CGSX	CGSY	CGIX	CGIY	CGTX	CGTY
CONDICIÓN FINAL	VIBRACIÓN TOTAL	120	126	110	115	165	192
	FASE	30	32	31	30	32	33

Valores de amplitud en μm

Los resultados muestran que el balanceo quedo de la mejor forma, y que la unidad 2 de jaguas esta lista para continuar con su operación normal.

6.2 AHORRO ECONÓMICO DE LA METODOLOGIA UTILIZADA

Con la metodología que se realiza, los principales ahorros están en el tiempo, ya que no existe la necesidad de desmontar todos los polos del rotor, los cuales aproximadamente tarde entre 3 y 4 horas, si no que se tiene con precisión el lugar y el polo donde se ubica el peso final para el balanceo.

A continuación se tendrá una tabla comparativa entre los costos de la metodología utilizada, los costos de la metodología de desmontaje de polos.

Tabla 7. Costos por metodología

	METODOLOGIA NUEVA	METODOLOGIA ANTERIOR
COSTO MANO DE OBRA		
NUMERO DE EMPLEADOS	8	12
COSTO POR HORA EMPLEADO	10.000,00	10.000,00
HORAS DE TRABAJO	30	70
DIAS DE TRABAJO	3	7
TOTAL MANO DE OBRA	2.400.000,00	8.400.000,00
COSTO MATERIALES		
EQUIPOS DE VIBRACIÓN	5.000.000,00	5.000.000,00
HERRAMIENTAS	430.000,00	430.000,00
TOTAL MATERIALES	5.430.000,00	5.430.000,00
OTROS COSTOS		
TRANSPORTE POR EMPLEADO	16.000,00	16.000,00
TOTAL TRANSPORTE	256.000,00	384.000,00
ALOJAMIENTO POR DIA EMPLEADO	22.000,00	22.000,00
TOTAL ALOJAMIENTO	528.000,00	1.848.000,00
ALIMENTACIÓN POR DIA EMPLEADO	15.000,00	15.000,00
TOTAL ALIMENTACIÓN	360.000,00	1.260.000,00
TOTAL OTROS COSTOS	1.197.000,00	3.545.000,00
TOTAL COSTOS	9.027.000,00	17.375.000,00

De acuerdo a la tabla anterior se puede demostrar que la metodología diseñada en el capítulo anterior es mucho menos costosa, y se puede aplicar en cada uno de los generadores de cada central. La diferencia es de 8.348.000 pesos aproximadamente.

Nota: los costos de basaron en el ejemplo práctico, para la central Jaguas.

7. OTRAS APLICACIONES

El mundo de las vibraciones es un tema que se puede aplicar y diversidad de máquinas y equipos, para realizarles un mantenimiento, que favorezca la vida útil del mismo, además, que mantenga en buen funcionamiento todo tipo de máquina con lo cual lleva a que las empresas dentro de su área de producción crezca para producir más y obtener mayores ingresos.

El balanceo es uno de los trabajos que se pueden realizar bajo las vibraciones, con el cual se quiere que los equipos o máquinas, trabajen con una eficiencia alta, ósea con pocas pérdidas.

El generador es el equipo al que se le puede realizar un balanceo, como el expuesto en los capítulos anteriores, pero no es el único al que se le puede realizar este tipo de metodologías, uno de los equipos a los que se le puede balancear de dicha manera, son los sistemas de aireación, los cuales están compuestos de grandes ventiladores con diferente número de aspas, peso, tamaño, y eje.

La metodología anteriormente mencionada, es aplicable igualmente que para el generador, los mismos pasos, acciones, se ganaría tiempo y se reducirían costos, los cuales son variables importantísimas a la hora de reportes hacia el área financiera de las empresas.

Dentro de las cavernas y casa de máquinas de las centrales, donde se encuentran además de los generadores, el sistema de aireación y ventilación, se mantienen las cavernas con el suficiente aire para el trabajo normal de las máquinas y los operadores, por esta razón los ventiladores de dicho sistema deben estar debidamente balanceados, y trabajando eficientemente.

Ilustración 33. Sistema de ventilación

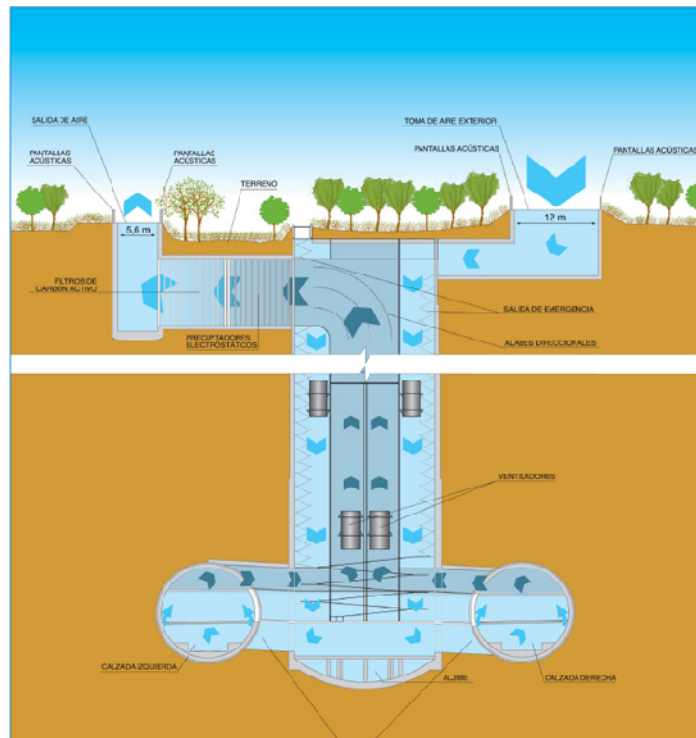
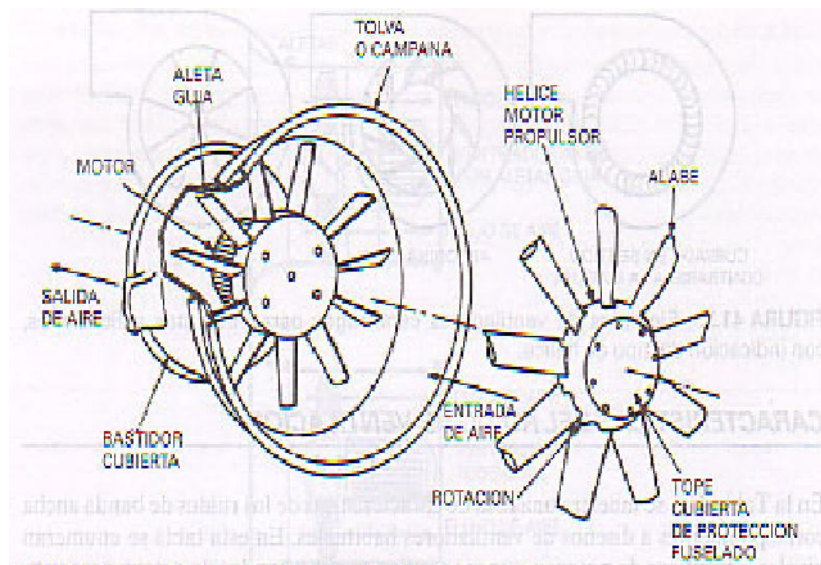


Ilustración 34. Ventiladores



Existen otro tipo de aplicaciones no tan prácticas, o como para la utilización de las vibraciones para realizar balanceos, pero que puede servir, estas son el balanceo de ruedas o llantas, molinos, en general, todo tipo de equipos que tengas un eje el cual deba estar en buena posición para el buen desempeño de los equipos.

8. CONCLUSIONES

Se consideran las empresas del sector energético como parte fundamental del vivir cotidiano ya que son las encargadas de generar la energía para el desarrollo de las diferentes industrias de todo país.

ISAGEN S.A. ESP es una de las empresas con mayor participación en el sector energético, aportando casi un 20% de la energía que se genera en Colombia, por lo cual es una de las más importantes.

ISAGEN S.A. ESP cuenta con la 4 centrales hidroeléctricas y una térmica, además de tener la central más grande del país en relación a su capacidad de generación alcanzando los 1240 MV.

ISAGEN S.A. ESP para su futuro tiene como proyectos la construcción y operación de las centrales Amoya e Hidrosogamoso, con las cuales espera incrementar la participación en el sector energético.

Existen diversas formas de generar energía (solar, eólica, térmica, hidroeléctrica, nuclear) pero por sus altos costos, cambios de clima, topografía del país ISAGEN S.A. ESP solo trabaja con hidroeléctricas y termoeléctricas.

Dentro de la generación de energía existe una ruta crítica de equipos los cuales deben estar monitoreados todo el tiempo para poder garantizar el buen funcionamiento, mediante los sensores de desplazamiento, velocidad y aceleración, también con un mantenimiento predictivo facilita percibir donde se encontrara el problema en un futuro antes de que este se presente.

Los generadores son parte vital de la generación, por lo que se debe tener mucho cuidado y se deben mantener de la mejor manera, además porque son de muy altos costos.

De acuerdo a la altura de la caída de agua en las centrales hidroeléctricas se selecciona el tipo de turbina, la Pelton es la más utilizada en casos de gran altura, debido a la resistencia en sus cangilones.

Una de las mejores maneras de tener una planta en buen funcionamiento es la aplicación de un buen plan de mantenimiento predictivo, ya que con este se tiene un muy buen control de todas las máquinas.

Entre los diferentes planes de mantenimiento como lo son el correctivo, el preventivo y el predictivo, el tercero es el más efectivo aunque los equipos con los cuales se procede a realizar el mantenimiento sean más costosos. En el futuro se ve que esos costos no son tan importantes como los que ocasionarían un correctivo o un predictivo.

Con un lenguaje sencillo se desea mostrar el procedimiento para llevar a cabo un balanceo paso a paso a generadores de alto voltaje que en un futuro se puede emplear en otras empresas optimizando costos y tiempo.

Existen muchos equipos a los cuales se les puede realizar un balanceo como el expuesto en el capítulo 5, con el cual se mantiene al equipo en perfectas condiciones de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ARROYAVE PIEDRAHITA, John. Principios de la generacion hidraulica. Medellin, 2009.

CASANOVA, Euro. Metodos de balanceo de rotores de campo,2005.

EL PRISMA. Mantenimiento predictivo 2001. [En línea]. [Consultado: 5 de abril 2010]. Disponible en:

http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mantenimientopredictivo/

HARPER, Gilberto Enriquez.El libro practico de los generadores, transformadores y motores electricos. Mexico, D.F.: Editorial Limusa, 2004.

ISAGEN. Nuestra empresa2003.[En línea]. [Consultado: 5 de abril 2010]. Disponible en:

www.isagen.com.co/metalnst.jsp?rsc=infoIn_estructuraPropiedad&idNodo=2

MIGUEL, Pablo Alcalde San. Electrotecnia. Madrid: Editorial Thomson, 2002.

SARMIENTO, Martin. Mantenimiento predictivo generadores sincronicos. 2005.