



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTÉCNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES Y TELECOMUNICACIONES

**Trabajo Monográfico para optar al Título de
Ingeniero en Electrónica**

**IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO PROPAGADO
EN AIRE Y ESTRUCTURAS**

Autor: Br. ORLANDO JOSUE JUAREZ SOZA
Carnet: 2005-21145

Tutor: MSC. CEDRICK DALLA TORRE

Managua, Nicaragua

JUNIO 2019

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todos los profesionales emprendedores que van dejando huella por donde pasan y ponen el nombre de nuestra alma mater UNI en alto.

A los que aún no culminan sus carreras pero que desde ya tienen muchas metas y luchan por cumplirlas día a día.

A mi familia, que me ha apoyado incondicionalmente en todos los momentos difíciles y se ha alegrado conmigo en los momentos de felicidad.

Agradecimiento

En primer lugar doy gracias a Dios, por permitirme culminar esta tesis y por las bendiciones que me ha otorgado a lo largo de la vida.

A los docentes que me transmitieron sus conocimientos con vocación y dedicación.

A mi tutor Master in Science, Ingeneer & Project Manager Cedrick Dalla Torre, Docente titular e investigador de la Facultad de Electrotécnica y Computación por ser mi guía en la realización de este trabajo y en la inspiración de la búsqueda de la excelencia académica

A todas las personas que de una manera u otra contribuyeron con mi tesis.

Índice

Antecedentes	2
Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivo Específicos.....	4
Justificación.....	5
CAPITULO I: DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS Y APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO PROPAGADO EN AIRE Y ESTRUCTURAS.	7
Concepto de ultrasonido:.....	7
Ultrasonido propagado en aire y estructuras:.....	7
Aplicaciones que pueden darse al ultrasonido propagado en aire y estructuras:	7
Componentes y accesorios del ultrasonido propagado en aire y estructura:	9
Funcionamiento del ultrasonido propagado en aire y estructuras:	11
Propagación de las ondas.....	12
CAPITULO II: METODOS BASICOS DEL ULTRASONIDO	15
Técnica de detección del ultrasonido:	23
Aplicaciones de la detección de ultrasonido:.....	24
Detección de fugas de presión o vacío:.....	26
Factores que causan las fugas en los sistemas:	27
Inspección de instalaciones eléctricas:	28
 CAPITULO III: EFECTIVIDAD DEL ULTRASONIDO EN LA ANTELACIÓN DE FALLAS EN AEROGENERADORES.....	30
 Que es un Aerogenerador:	30
 Características de un Aerogenerador:	30
 Orientación automática:	31
 Giro de las palas:.....	31
 Multiplicación:.....	31
 Generación:	31
 Evacuación:	31
 Rodamiento de Palas:	33

Generador:	34
Ubicación del generador en la turbina:	34
Caja multiplicadora:	36
Rodamientos:	37
Transformador:	38
Inspecciones de rodamientos por ultrasonido pasivo:	38
Inspección de Rodamientos por ultrasonido:	40
Fallas típicas en aerogeneradores:	42
CAPITULO IV: BENEFICIOS EN EL SISTEMA DE MONITOREO DE LOS AEROGENERADORES EN LA DETECCIÓN DE FALLAS Y EN PRO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EFICIENTE.	44
Sistema de monitoreo de la condición. (Condition Monitoring System, CMS): ..	44
Fundamentos de las técnicas de CMS:	46
Análisis de la vibración (VA):	47
Análisis del aceite (OA):	48
Medición de temperatura (TM):	48
Medición de tensión estructural (SM):	49
Emisión acústica (EA):	49
Análisis termo gráfico (TA):	50
Inspección radiográfica:	50
Método de impulsos de choque (SPM):	50
Inspección visual (VI):	51
Performance Monitoring:	51
Análisis de datos SCADA:	51
CAPITULO V: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ORGANIZACIÓN, OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS LOGISTICOS Y FORTALECIMIENTO DEL PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, EN AEROGENERADORES.	53
Blue Power & Energy	53
Perfil de la empresa	53
Estrategia corporativa	53
Nuestra visión a largo plazo	54
Nuestros objetivos a medio plazo	54
Nuestras prioridades y fundamentos a medio plazo	54

Nuestros valores	54
Historia de Vestas	54
Definición de Mantenimiento	54
Objetivos del Mantenimiento	55
Tipos de Mantenimiento:	56
Mantenimiento Correctivo	56
Mantenimiento Preventivo	57
Mantenimiento Preventivo Programado	57
Mantenimiento Preventivo Condicional	57
Mantenimiento Preventivo Modificativo	57
Mantenimiento Predictivo	57
Inconvenientes	59
Aplicaciones	59
Ventajas del mantenimiento predictivo	60
Técnicas de mantenimiento predictivo	61
Técnica de análisis de vibraciones mecánicas	61
Mantenimiento basado en la condición (CBM) en Aerogeneradores	62
Test de ultrasonidos	65
Índices de mantenimiento	65
Logística de mantenimiento	65
El ultrasonido y el ahorro energético	66
Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo con el uso de ultrasonido propagado en aire y estructuras	67
Conclusiones	73
Recomendaciones	75
Referencias Bibliográficas	76
Anexos	78
Glosario	78
CERTIFICACIÓN AIRBORNE ULTRASOUND LEVEL 1	79

Índice de Figuras

Figura. 1 capacidades auditivas del oído humano para entender los beneficios del ultrasonido. [1].....	16
Figura. 2 Vista seccionada del oído humano y sus 3 principales divisiones encargadas de procesar el sonido que será interpretado en el cerebro. [1].....	17
Figura. 3 Efectos de la perturbación causada en un medio por el nivel de presión del sonido. [1]	18
Figura. 4 Efectos en las ondas de sonido al variar la frecuencia. [1].....	22
Figura. 5 El Efecto Doppler nos ayuda a ilustrar las dificultades en encontrar una fuente de energía acústica. [1].....	22
Figura. 6 Diseño de un detector de ultrasonido. [4]	24
Figura. 7 Monitoreo de rodamientos con ultrasonido pasivo.....	25
Figura. 8 Detección de fugas de presión o vacío por medio del ultrasonido	27
Figura. 9 Inspección de instalaciones eléctricas utilizando la técnica de ultrasonido	29
Figura. 10 Aerogenerador	30
Figura. 11 Estructura interna de un Aerogenerador	32
Figura. 12 Estructura interna de un Aerogenerador	33
Figura. 13 Estructura interna de un Aerogenerador	33
Figura. 14 Generador.....	34
Figura. 15 Puntos de Inspección de los Rodamientos del Generador	35
Figura. 16 Software de medición DMS o Spectralizer	36
Figura. 17 Caja Multiplicadora del Aerogenerador.....	36
Figura. 18 Rodamientos del aerogenerador	37
Figura. 19 Ubicación del transformador en la turbina del Aerogenerador.....	38
Figura. 20 Espectro de vibraciones en aceleración de rodamiento rígido de bola. [6].....	41
Figura. 21 Espectro de ultrasonido para rodamiento en buen estado [6].....	41
Figura. 22 Espectro de ultrasonido para rodamiento en mal estado [6]	42
Figura. 23 Principales componentes de un aerogenerador que se deben supervisar [7]	43
Figura. 24 Descripción general de CMS y proceso de mantenimiento en aerogeneradores. [7]	46
Figura. 25 Desarrollo típico de un fallo mecánico.....	47
Figura. 26 Tipos de Planes. [9]	56
Figura. 27 Equipo Ultra probé 10000., Ultrasonido Propagado en el Aire	69
Figura. 28 Propuesta de Planificación de Matto. Predictivo	71
Figura. 29 Propuesta de planificación de Matto. Predictivo.....	72

Índice de Tablas

Tabla. 1 Tabla de Velocidades de propagación de sonido en diferentes medios. [1]	20
Tabla. 2 Severidad del sonido con ultrasonido pasivo. [6].....	40
Tabla. 3 técnicas de monitorización Existentes. [9]	63

Resumen

En la actualidad la demanda de la energía eólica sigue creciendo a un ritmo exponencial, gracias a la reducción de los costos de operación y mantenimiento y el aumento de la fiabilidad de los aerogeneradores. Una forma práctica para lograr esta mejora es la aplicación de técnicas de monitoreo de condición efectivas y rentables, el aprovechamiento de la energía que poseen las masas de aire en movimiento (el viento), no es algo exclusivo de nuestros días, sino que viene siendo utilizado desde largo tiempo. Son las formas de utilización y la tecnología aplicada las que han ido cambiando a lo largo del tiempo. Hoy en día, el viento como una de las fuentes de energía renovables ha recibido una enorme atención en el mercado de la energía para hacer frente a la creciente demanda mundial de combustibles fósiles y las preocupaciones posteriores sobre medio ambiente, El Ultrasonido propagado en aire y estructuras es una tecnología que fortalece los protocolos de mantenimiento predictivo en el sector industrial en diferentes actividades de verificaciones independientes, para inspeccionar fugas, efectuar análisis mecánico y eléctrico, sin afectar la utilidad de los equipos inspeccionados. Dicho método es realizado por medio de una unidad de inspección ultrasónica

En este trabajo monográfico, hemos propuesto, realizar un plan de mantenimiento predictivo, utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras para la antelación de posibles fallas potencialmente peligrosas, en VESTAS Nicaragua. Complejo la fe san Martin, para ello hemos determinado los principales elementos y aplicaciones que hacen parte de esta tecnología, la detección de falla en una etapa temprana. Es muy vital para la producción de energía limpia en la compañía, el plan de mantenimiento propuesto mejorara las programaciones de tareas de mantenimiento o reparaciones optimizando recursos en tiempo y forma, antes de que el problema se intensifique, y asegurara la disponibilidad de las máquinas en el parque eólico y reducirá los costos excesivos del mantenimiento predictivo significativamente.

Introducción

Hoy en día la tecnología de ultra sonido ofrece una amplia gama de aplicaciones que pueden ser utilizadas de manera efectiva en las tareas de mantenimiento, con el objetivo de reducir costos energéticos y optimizar la eficiencia de los sistemas presurizados como los de aire comprimido o vapor.

De manera de aplicar bien los principios de detección temprana, de cualquier falla en los sistemas o dispositivos mecánicos y eléctricos, mejorando la confiabilidad para la solución de problemas, fomentando el Mantenimiento Pro-activo para reducir costos de operación y alargar tiempos de vidas de los componentes.

El presente trabajo de investigación pretende presentar una propuesta de implementación de un plan de mantenimiento predictivo en contribución de mejorar el desempeño (la confiabilidad y la disponibilidad) de los equipos; tomando como ejemplo el proceso de generación eléctrica de la empresa VESTAS Nicaragua. Usando para la demostración de esta propuesta una metodología de diseño de investigación de campo del tipo descriptiva y explicativa, en la cual nos enfocaremos en la recolección y análisis de fallas en las bitácoras de los años 2015-2017, en los equipos involucrados en el proceso, específicamente en equipos rotativos y sistemas de transmisión eléctrica como transformadores de potencia.

El desarrollo se fundamenta en los conceptos básicos de mantenimiento, haciendo énfasis en el mantenimiento predictivo, utilizando la tecnología del ultrasonido propagado en aire y estructuras para detección temprana de fallas, misma que ayudará en el análisis y desarrollo de un plan de mantenimiento que controle principalmente los parámetros físicos medibles de los equipos, máquinas y sistemas. De esta manera se podrá conocer el estado de cada uno y así será posible evaluar cuáles son los equipos críticos, que requieren ser priorizados.

Antecedentes

La tecnología de ultrasonido tiene sus orígenes, al igual que muchas otras, cabe destacar que el primer detector comercial de ultrasonido fue desarrollado en el año 1961 por la multinacional Hewell Packard, este dispositivo convertía la energía ultrasónica de frecuencia a señales eléctricas. En 1967 a esta tecnología se le dio el uso de detectora de fugas de aire en los cables de teléfono que eran presurizados para evitar el ingreso de la humedad y suciedad que causaban innumerables fallas en el servicio telefónico. Anteriormente lo que se hacía era usar agua y jabón para buscar las fugas por medio de las burbujas que generaban los escapes. Luego se descubrió que esta tecnología también detectaba deficiencias eléctricas como el efecto corona, fricción en elementos rotativos, escapes internos en válvulas, entre otras aplicaciones. [1]

El Ultrasonido es uno de los instrumentos de mantenimiento predictivo más rentables en el mercado actual. Durante años, muchos han pensado de este Instrumento como solo un detector de fugas. Sin embargo, el ultrasonido es un instrumento para localizar fugas así como también un instrumento predictivo de mantenimiento. [2]

A nivel nacional se realizó un estado del arte exhaustivo para identificar trabajos correlacionados con nuestro tema de investigación, en el centro de documentación de la facultad de electrotécnica y computación de la universidad nacional de ingeniería, en materia de implementación de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras, y cabe destacar que no existe información alguna, el cual nos motiva a desarrollar esta investigación que en nuestra consideración puede ser utilizado por otras compañías como fuente de referencia, para programas de mantenimiento predictivo o bien técnicas que sigan la estandarización de esta tecnología.

En el plano internacional se destacan investigaciones de aplicación de tecnología de ultrasonido en la industria azucarera, (Morataya, 2015) donde se determinan

planes de mantenimiento predictivo, en el que se abarcan los equipos de consideración crítica del Ingenio Santa Ana, del país de Guatemala, para aplicar las técnicas de inspección establecidas. Este mantenimiento se implementará mediante tres técnicas de inspección no destructivas como lo son el ultrasonido propagado en el aire y estructuras, el análisis de vibraciones y la termografía infrarroja.

Con el objetivo de maximizar el tiempo de vida de los equipos es algo que cualquier empresa busca, pues esto conduce a la reducción de costos, no solo por la adquisición de repuestos sino también evitando paros inesperados en la producción. Para ello, el mantenimiento predictivo es una herramienta muy útil, pues no necesita que los equipos se detengan, logrando con esto que la producción sea continua. [3]

También consideramos que este proyecto contribuirá al fortalecimiento de las asignaturas prácticas y aplicativas del plan de estudio de ingeniería electrónica, así como la información, esté disponible en el centro de documentación de la facultad de electrotecnia y computación ya que es un tema novedoso y pionero en esta línea de desarrollo.

Finalmente, queremos establecer que la meta a partir de este momento es sentar antecedentes dentro del país en esta área e incentivar con ello, un mayor interés por ésta temática.

Objetivos

Objetivo General

- ❖ Realizar un plan de mantenimiento predictivo, utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras para la antelación de posibles fallas potencialmente peligrosas, en VESTAS Nicaragua.

Objetivo Específicos

- ❖ Describir los principales elementos y aplicaciones de la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras.
- ❖ Analizar los métodos básicos de ultrasonido y del porqué resulta una tecnología adecuada para fortalecer el mantenimiento predictivo.
- ❖ Determinar la efectividad del ultrasonido en la antelación de fallas potencialmente peligrosas en aerogeneradores.
- ❖ Especificar los beneficios técnicos en el sistema de monitoreo de los aerogeneradores, en la detección de fallas y en pro del mantenimiento preventivo eficiente.
- ❖ Detallar los procesos inmersos en la optimización de recursos logísticos de VESTAS Nicaragua y fortalecimiento del protocolo de mantenimiento predictivo en los aerogeneradores, al adoptar la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras

Justificación

La variedad de equipos, condiciones y misiones dentro de la industria crean una diversidad de necesidades de mantenimiento que requieren de un cuidadoso análisis; de esto dependerá el buen rendimiento de los equipos y las expectativas de metas de producción. Con esta visión se pensó en una manera de optimizar dicho rendimiento. Con este estudio se pretende demostrar que con el uso del ultrasonido propagado en aire y estructuras puede lograrse la realización de mantenimientos predictivos exitosos, adelantándose a posibles fallas peligrosas que puedan elevar los costos.

Un análisis con el ultrasonido propagado en aire y estructuras constituye una prueba no destructiva, es decir, se realiza el proceso de encontrar anomalías en un objeto de prueba sin dañar físicamente la unidad, a diferencia de algunas inspecciones, las pruebas no-destructivas involucran mucho más que la apariencia de la unidad o sus medidas físicas. Lo que lo convierte en una herramienta útil, ventajosa y confiable al momento de realizar un diagnóstico. [1]

En la actualidad en el ámbito de los mantenimientos preventivos y monitoreo periódicos, en los diferentes grupos de trabajos, existe mucha resistencia en cuanto al uso y manejo de nueva tecnología para detectar fallas de maneras más confiables, esto ha causado grandes impactos económicos en cuanto al fallo humano, ya que algunos talentos humanos trabajan de la manera tradicional, también la falta de conocimiento, en explotar las aplicaciones en el uso de esta tecnología de ultrasonido, cabe destacar que actualmente la mayoría de las industrias en Nicaragua no aplican la tecnología novedosa de ultrasonido y No existe un distribuidor autorizado y certificado en nuestro país que pueda proveer esta tecnología y promover sus beneficios.

A la vez se requiere capacitación continua para su uso y manejo. De manera indirecta a nivel del país contamos con pocos profesionales especialistas en tecnología de ultrasonido, por lo que se generan gastos económicos elevados En

cuanto a la contratación de profesionales extranjeros, para brindar diagnósticos o solución a problemas ocasionados en los distintos procesos industriales, desde la perspectiva de ahorro de energía hasta gestión de activos físicos, y ahorro de recursos, el ultrasonido es una herramienta fundamental, pero hay un total desconocimiento de la misma, y es lo que se pretende cambiar.

Consideramos que con el desarrollo de esta tesis monográfica, para optar al título de ingeniero electrónico, serán aplicados los conocimientos de sistemas de control que fueron adquiridos como parte del plan de estudios de la carrera de ingeniería electrónica, en cuanto a beneficios obtenidos, es pertinente señalar que en la actualidad, los proyectos de mayor factibilidad e impacto, se encuentran los de monitoreo de condición de maquinaria, ya que son base para analítica avanzada. La electrónica y consecuente, control de señales de esta tecnología, es una de las aplicaciones primordiales y con mayor potencial de desarrollo por la dirección que está tomando la industria a nivel mundial.

CAPITULO I: DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS Y APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO PROPAGADO EN AIRE Y ESTRUCTURAS.

Concepto de ultrasonido:

Básicamente se entiende por ultrasonido una onda acústica que no puede ser percibida por el hombre por estar en una frecuencia más alta de lo que puede captar el oído humano (aproximadamente entre 20Hz y 20kHz), es decir, el ultrasonido está por encima de los 20Khz. [1]

Ultrasonido propagado en aire y estructuras:

El Ultrasonido propagado en aire y estructuras es un método utilizado en actividades de verificaciones independientes para inspeccionar fugas y efectuar análisis mecánico y eléctrico sin afectar la utilidad de los equipos inspeccionados. Dicho método es realizado por medio de una unidad de inspección ultrasónica. Los ultrasonidos más utilizados son de frecuencias comprendidas entre 10 ciclos por segundo, y se propagan en línea recta, pudiendo atravesar espesores de acero de varios metros. Su amortiguación es grande en gases e intermedia en líquidos.

Aplicaciones que pueden darse al ultrasonido propagado en aire y estructuras:

Esta tecnología puede ser utilizada en prácticamente toda empresa e industria.

- QUIMICA / PETROQUIMICA: fugas presión/vacío, monitoreo de rodamientos, trampas de vapor, válvulas, compresores, intercambiadores de calor, engranes / cajas reductoras, bombas (incluyendo cavitación), motores, ensacadoras, engrane eléctrico.

- GAS / DISTRIBUCION DE GAS: compresor, análisis de válvulas, detección de fugas, válvulas, monitoreo de rodamientos.
- HULE / NEUMÁTICOS: detección de fugas, trampas de vapor, válvulas, monitoreo de rodamientos, dispositivos eléctricos, bombas y motores.
- PULPA Y PAPEL: trampas y sistemas de vapor, válvulas, monitoreo de rodamientos (incluyendo bajas velocidades), intercambiadores de calor, fugas de presión o vacío, dispositivos eléctricos.
- GENERACION / DISTRIBUCION DE ENERGIA: fuga entrada condensadores, intercambiadores de calor, trampas de vapor, válvulas, calderas, monitoreo de rodamientos, bombas, turbinas, arco y corona en dispositivos eléctricos, transformadores, aisladores, relevadores, medición de finura de carbón.
- AVIACION / ESPACIAL: fugas de presión de cabina, ventanas de la cabina, fugas sistema de oxígeno, celdas de combustible, actuadores, retención de neumáticos, válvulas hidráulicas, fugas de ductos de aire caliente, correderas y placas, fugas en sistemas de nitrógeno y sistemas neumáticos, rodamientos.
- INSTALACIONES / ESTRUCTURAS Y TERRENOS: rodamientos, ductos de ventilación, bombas, motores, compresores, fugas de presión, trampas de vapor, válvulas, enfriadores, transformadores, interruptores de circuitos, relevadores, fugas de edificios, ej. Entradas de aire, fugas de agua.
- MANUFACTURA GENERAL: rodamientos, válvulas, trampas de vapor, compresores, intercambiadores de calor, sistemas neumáticos, fugas presión/vacío, engranes/cajas reductoras, ductos, ensacadoras,

arco/corona/seguimiento eléctrico en dispositivos eléctricos, relevadores, cajas de empalme.

- OTRAS CATEGORIAS: Automotriz / Transporte; Material / Compuestos; Procesamiento de Alimentos; Tratamiento de Agua Potable; Marino; Textiles y otros.

Componentes y accesorios del ultrasonido propagado en aire y estructura:

Unidad ultrasónica: unidad que heterodina una onda de ultrasonido y la transforma en una onda de sonido audible.

Audífonos: deben producir una calidad de sonido clara, no distorsionada. Los audífonos con atenuación de ruido y buena calidad de sonido son esenciales. Si la calidad de sonido no es clara, entonces será difícil entender lo que se está analizando, debido a que la calidad del sonido es un aspecto importante en este tipo de instrumentación. Son recomendables los audífonos que cubren la oreja y reducen sonidos ambientales de planta durante la inspección si las inspecciones serán conducidas en áreas de mucho ruido ambiental.

Transductores: El propósito del transductor en ultrasonido propagado en aire es recibir ultrasonido exterior y no transmitir ultrasonido. El ultrasonido recibido hace presión en el transductor y hace que el transductor genere energía eléctrica. El sonido es amplificado y luego heterodinado (No todas las unidades heterodinan) De lo contrario, no puede ser usado con medidores de vibración y computadores personales. Medidores de vibración y computadores personales no aceptan señales crudas, deben ser desmoduladas. [1]

Módulo de contacto: El módulo de estetoscopio es un sensor aislado enchufable con protección RF. Este sensor metálico es estimulado por ultrasonidos y actúa como una guía de ondas cuando se toca la superficie. La guía de ondas es conectada al transductor piezoeléctrico donde la energía acústica conducida por la guía de ondas es convertida en energía eléctrica. [1]

Módulos de concentración: Compuesto por una sonda de Concentración de hule (flexible), que se desliza sobre el módulo de escaneo para concentrar el sonido hacia el transductor de recepción y proteger la recepción de ultrasonido disperso. También se ajusta sobre el módulo de estetoscopio para proteger contra un alto ultrasonido del ambiente mientras la unidad está a su máxima sensibilidad. [1]

Módulo de foco cercano: Utiliza una cámara de recepción de forma única que se asemeja a la toma de un motor a propulsión. Para detección de fugas de bajo nivel en sistemas de presión y vacío. Usado para exploración cercana solamente. [1]

Recargador: está diseñado para enchufarse en un receptáculo eléctrico estándar.

Micrófono parabólico: permite trabajar a una distancia segura. Duplica su distancia de detección (3X), cuenta con un ensamblaje de transductor único, Tiene menos de 5 grados de dispersión de haz.

Módulo de detección de ultrasonido de largo alcance: Es un cuerno de colección que discrimina contra ruido de fondo. El diseño parabólico de la cámara amplificadora dirige todas las señales de ultrasonido al ápice del transductor y minimiza pérdida de energía acústica. La señal es luego pre-amplificada y transferida a la caja donde es nuevamente amplificada. Este “doble” efecto de amplificación funciona acústicamente igual que un telescopio.

Software: Es posible contar con programas que permitan analizar, procesar o calcular los datos obtenidos según la aplicación que se le vaya a dar al equipo.

Monitores dedicados: son dispositivos de detección ultrasónica únicos, que están diseñados para satisfacer las necesidades del usuario.

Funcionamiento del ultrasonido propagado en aire y estructuras:

El sonido tiene como su fuente alguna propiedad vibratoria. Viaja a través de un medio y es percibido por el receptor como un “sonido”.

Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal (como el cuarzo, titanato de bario, sulfato de bario, sulfato de zinc, turmalina, que son los más comúnmente utilizados) o un cerámico piezoeléctrico denominado transductor y que tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Al ser excitado eléctricamente el transductor vibra a altas frecuencias generando ultrasonido. Las vibraciones generadas son recibidas por el material que se va a inspeccionar, y durante el trayecto la intensidad de la energía sónica se atenúa exponencialmente con la distancia del recorrido. Al alcanzar la frontera del material, el haz sónico es reflejado, y se recibe el eco por otro (o el mismo) transductor. Su señal es filtrada e incrementada para ser enviada a un osciloscopio de rayos catódicos.

Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose paulatinamente y son reflejadas a la interface. El haz reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades. El grado de reflexión depende grandemente en el estado físico de los materiales que forman la interface. Por ejemplo: las ondas de sonido son reflejadas casi totalmente en las interfaces gas/metál. Por otro lado existe una reflectividad parcial en las interfaces metal/sólido. Grietas, laminaciones, poros, socavados y otras discontinuidades que

producen interfaces reflectivas pueden ser detectadas fácilmente Inclusiones y otras partículas extrañas pueden ser también detectadas causando baja reflexión. [1]

Propagación de las ondas

Un cuerpo vibrando ocasiona que las partículas a su alrededor vibren. La energía producida ocasiona una “perturbación” en el medio elástico (aire, líquido, metal) en el cual ocurre la vibración. Esta energía es transferida de una partícula a la siguiente hasta que es recibida como un sonido.

Las ondas ultrasónicas (y otras ondas de sonido) se propagan en cierta medida en cualquier material elástico. La transmisión de vibración ultrasónica por un medio está relacionada con la propiedad elástica del medio específico. Una serie de pequeños desplazamientos de partículas en un medio es la forma en la cual la energía se propaga por un medio. Cuando un medio es comprimido en una dirección típicamente se expande en otra dirección. Elasticidad es el fenómeno que ocasiona que un medio mantenga su forma.

Debido a las fuerzas interatómicas que existen entre las partículas adyacentes del material, un desplazamiento en un punto induce un desplazamiento en los puntos vecinos y así sucesivamente, originando entonces una propagación de ondas de esfuerzo-deformación. El desplazamiento real material que se produce en las ondas ultrasónicas es extremadamente pequeño. La amplitud, modo de vibración y velocidad de las ondas se diferencian en los sólidos, líquidos y gases debido a las grandes diferencias que entre las distancias de sus partículas internas. Estas diferencias influyen las fuerzas de atracción entre partículas y el comportamiento elástico de los materiales. El aire se compone de partículas por lo cual es un medio elástico. Este medio elástico permite la transferencia de vibraciones de sonido. Sin aire, el sonido no viajará ya que no hay moléculas a mover por lo que no puede ser llevado en vacío.

La relación de velocidad con frecuencia y longitud de onda está dada por:

$$V = f \cdot \lambda$$

Dónde V es velocidad (en metros por segundo)

F es la frecuencia (en Hertz)

λ es la longitud de onda (en metros por ciclo).

a. Velocidad:

La velocidad de propagación es la distancia recorrida por la onda dividido por el tiempo empleado para recorrer esa distancia. La velocidad de los ultrasonidos en un material determinado depende de la densidad y elasticidad del medio que a su vez varían con la temperatura. La relación es directa, es decir, a mayor densidad del medio, mayor será la velocidad de transmisión de los ultrasonidos.

b. Frecuencia:

Es el número de oscilaciones (vibración o ciclo) de una partícula por unidad de tiempo (segundo). La frecuencia se mide en Hertz (Hz). Un Hertz es una oscilación (ciclo) por segundo. Como los ultrasonidos son ondas de alta frecuencia, se utiliza como medida básica el Mega Hertz (MHz) que es igual a un millón de Hz.

c. Longitud de onda:

Es la distancia que existe entre dos puntos que se encuentran en el mismo estado de vibración.

d. Amplitud:

Es el máximo cambio producido en la presión de la onda, es decir la distancia máxima que alcanza la partícula vibratoria desde su posición inicial de reposo (altura de la curva senoidal). La amplitud se relaciona con la intensidad. De este modo si aumentamos la intensidad de una onda determinada aumentaremos su amplitud. Durante la transmisión de las ondas, por efecto de su interacción con el medio, disminuye la intensidad de la onda en función de la distancia recorrida y como consecuencia se produce una disminución de su amplitud.

e. Período:

Es el tiempo de una oscilación completa, es decir lo que tarda el sonido en recorrer una longitud de onda.

f. Intensidad:

Es la energía que pasa por segundo a través de una superficie de área unidad colocada perpendicularmente a la dirección de propagación del movimiento. La intensidad disminuye con la distancia.

CAPITULO II: METODOS BASICOS DEL ULTRASONIDO

Si se trata de aprender de ultrasonido, sin duda tendríamos que hablar sobre los Conceptos Básicos que rigen al sonido, ¿Qué Es?, ¿Cómo se Produce?, ¿Cómo Viaja?, ¿Cómo se Comporta?, entre otras preguntas interesantes que nos ayuden a entender sus propiedades físicas.

El sonido (del Latín sonitus), en física, es cualquier fenómeno que involucre la propagación en forma de ondas elásticas (sean audibles o no), generalmente a través de un fluido (u otro medio elástico) que esté generando el movimiento vibratorio de un cuerpo.

El sonido humanamente audible consiste en ondas sonoras que se producen cuando las oscilaciones de la presión del aire, son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro. La propagación del sonido es similar en los fluidos, donde el sonido toma la forma de fluctuaciones de presión. En los cuerpos sólidos la propagación del sonido involucra variaciones del estado tensional del medio.

La propagación del sonido involucra transporte de energía sin transporte de materia, en forma de ondas mecánicas que se propagan a través de un medio elástico sólido, líquido o gaseoso. Entre los más comunes se encuentran el aire y el agua. No se propagan en el vacío, al contrario que las ondas electromagnéticas. Si las vibraciones se producen en la misma dirección en la que se propaga el sonido, se trata de una onda longitudinal y si las vibraciones son perpendiculares a la dirección de propagación es una onda transversal. [1]



Figura. 1 capacidades auditivas del oído humano para entender los beneficios del ultrasonido. [1]

El ultrasonido es una onda acústica o sonora cuya frecuencia está por encima del umbral de audición del oído humano (aproximadamente 20.000 Hz). La capacidad natural del oído humano es de 20 Hz a 20,000 Hz.

El oído

Una de las funciones principales del oído es la de convertir las ondas sonoras en vibraciones que estimulen las células nerviosas, para ello el oído tiene tres partes claramente identificadas. Estas secciones están interconectadas y son el oído externo, el medio y el interno. Cada parte tiene funciones específicas dentro de la secuencia de procesamiento del sonido.

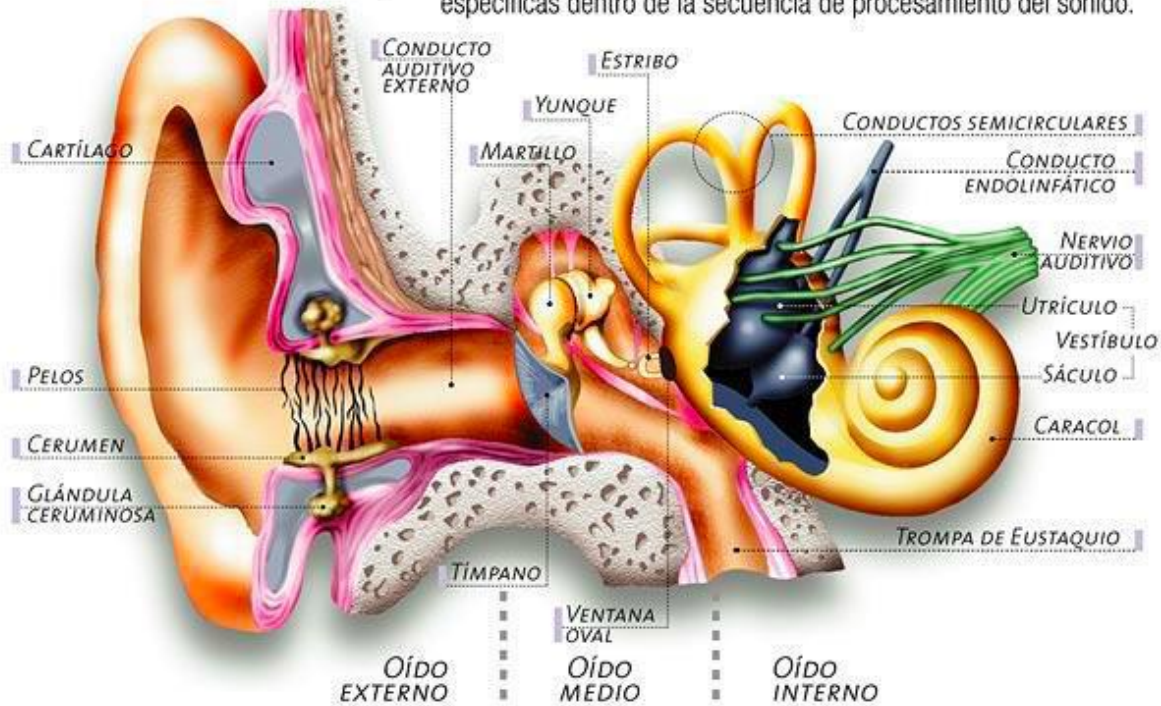


Figura. 2 Vista seccionada del oído humano y sus 3 principales divisiones encargadas de procesar el sonido que será interpretado en el cerebro. [1]

Dentro de la cóclea se encuentra el órgano de Corti, que es el órgano fundamental de la propiocepción del proceso auditivo en general. Es también nombrado como órgano de la espira u órgano espiral dado que se encuentra en todo el recorrido del conducto coclear, localizado en el oído interno. En esa parte del oído se encuentran las células ciliadas cocleares que tienen la función de transformar señales acústicas físicas a señales acústicas mecánicas Corti linfáticas, y de estas a señales electroquímicas dirigidas al área receptora auditiva de la corteza cerebral.

Estos pequeños transductores, reaccionan ante la presencia del Nivel de Presión del Sonido (SPL), esta presión puede ser positiva o negativa y tiene múltiples niveles de intensidad. El movimiento del sonido puede ser considerado una perturbación en

el medio y esta es la razón por la cual en exceso es denominado ruido, que puede ser un contaminante ambiental.

Es importante entender los efectos que tiene el movimiento de sonido sobre los cuerpos, ya que en el momento en que esta perturbación causa vibración en un cuerpo es cuando es considerado como sonido, la figura a continuación, nos mostrara, Efectos de la perturbación causada en un medio por el nivel de presión del sonido. [1]

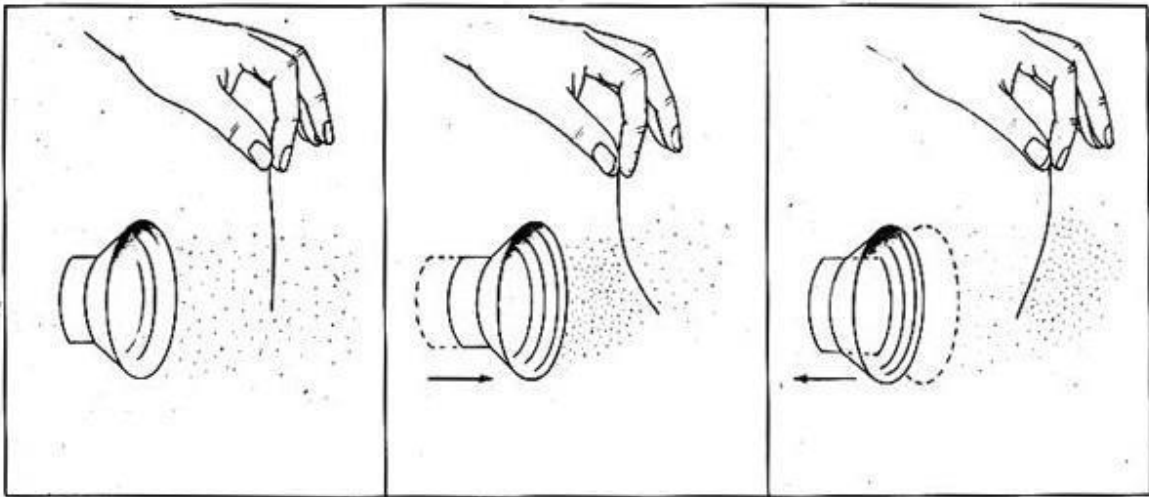


Figura. 3 Efectos de la perturbación causada en un medio por el nivel de presión del sonido. [1]

Para comprender cómo se propaga el sonido podemos comenzar hablando de él desde el punto de vista de la física. El sonido es en sí una vibración y como tal, puede ocurrir en cualquier medio material, ya sea sólido, líquido o gaseoso. Es decir, se requiere un medio elástico para que exista propagación del sonido.

El sonido viaja en forma de ondas mecánicas, es decir una perturbación u onda que se mueve en un medio, puede ser cualquier serie de partículas interconectadas y que interactúan entre sí, llegando de un lugar a otro. Siempre debe de haber un

emisor y un receptor, siendo el primero el que emite la onda y el segundo el que la percibe.

La velocidad de propagación de la onda sonora depende de las características del medio en el que se transmite, principalmente la elasticidad y densidad del medio, además de la condiciones de presión, temperatura y humedad. En el vacío, al no existir partículas que puedan vibrar, el sonido no se propaga. Por ejemplo, en el aire, el sonido se propaga a una velocidad aproximada de 343 m/s. Esta velocidad puede variar con la densidad del aire, afectada por factores como la temperatura o la humedad relativa.

En el agua, el valor típico de velocidad del sonido es de 1500 m/s. En este medio la densidad varía mucho en función de factores como la profundidad, la temperatura o la salinidad. En materiales metálicos, el sonido se propaga a velocidades superiores. Por ejemplo, en el acero el sonido se propaga a una velocidad en torno a 5000 m/s. La siguiente tabla nos da una idea. [1]

Tabla. 1 Tabla de Velocidades de propagación de sonido en diferentes medios. [1]

Gases	
Material	velocidad (m/s)
Hidrógeno (0°C)	1286
Helio (0°C)	972
Aire (20°C)	343
Aire (0°C)	331
Líquidos a 25°C	
Material	velocidad (m/s)
Glicerina	1904
Agua marina	1533
Agua	1493
Mercurio	1450
Queroseno	1324
Alcohol metílico	1143
Tetracloruro de Carbono	926
Sólidos	
Material	velocidad (m/s)
Diamante	12000
Hierro	5130
Aluminio	5100
Bronce	4700
Cobre	3560
Oro	3240
Plomo	1322

Una de las características de un sonido es el tono. El tono es la respuesta del oído a la frecuencia. La diferencia apenas perceptible en el tono se expresa convenientemente en cents, por definición cada tono tiene 100 cents. Es muy difícil de saber a qué nivel de variación medido en cents es perceptible para el oído humano ya que esta varía de persona en persona, pero se acepta que el humano promedio puede notar una diferencia en el tono de entre 5-6 cents.

Aunque para efectos prácticos, el tono de un sonido puede decirse que es simplemente una medida de su frecuencia, hay circunstancias en las que un sonido de frecuencia constante, se puede percibir como de tono variable.

Uno de los más consistentes efectos "psicoacústicos" observados, es que un sonido sostenido de alta frecuencia (> 2 kHz), que se incrementa de manera constante en intensidad, se percibe como aumentando en tono, mientras que si es un sonido de baja frecuencia (< 2 kHz), se percibe como disminuyendo en tono.

En los pulsos cortos, la percepción del tono difiere de la de los sonidos sostenidos de la misma frecuencia medida. Si un pulso corto de un tono puro está decayendo en amplitud, se percibe como de mayor tono que un pulso idéntico, que tenga una amplitud constante. La interferencia de tonos o ruidos, puede causar un desplazamiento de tono aparente. [1]

Si se incrementa el volumen, un tono alto (> 2 kHz) se percibirá como aumentando también en tono, mientras que si se trata de un tono bajo (< 2 kHz) se percibirá como más bajo al aumentar el volumen. Este efecto acústico, llamado a veces la "regla de Stevens" en honor a uno de los primeros investigadores, ha sido estudiado extensivamente.

Con un aumento de la intensidad de sonido de 60 a 90 decibelios, Terhardt encontró que el sonido de un tono puro de 6 kHz, se percibió con una elevación de 30 cents. Un tono de 200 Hz con el mismo cambio de intensidad, se encontró que caía alrededor de 20 cents en el tono.

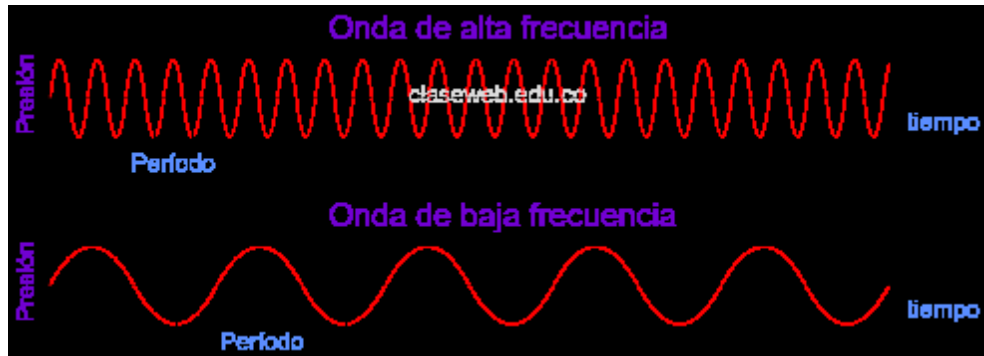


Figura. 4 Efectos en las ondas de sonido al variar la frecuencia. [1]

Otra característica interesante del ultrasonido es su direccionalidad, las ondas de baja frecuencia tienen la particularidad de viajar en múltiples direcciones y envolver a los receptores, dificultando la ubicación de la dirección de la fuente de sonido. Pero, en el momento en que trabajamos con altas frecuencias, el sonido viaja en una sola dirección, lo que hace localizables a las fuentes de energía. [1]



Figura. 5 El Efecto Doppler nos ayuda a ilustrar las dificultades en encontrar una fuente de energía acústica. [1]

Técnica de detección del ultrasonido:

El ultrasonido pasivo es muy utilizado en el mantenimiento la cual se basa en el estudio de las ondas sonoras de alta frecuencia que tiene origen en los equipos cuando algo fuera de lo común está sucediendo. Se fundamenta en que pérdidas de presión o vacío, descargas eléctricas y fuerzas de rozamiento, llegan a producir ondas de sonido de alta frecuencia, de longitud corta y pierden la energía rápidamente, esto que permite que los problemas en los equipos sean localizados fácil y rápidamente antes de que se produzcan fallas que causen un paro en la planta de producción de una empresa.

Los instrumentos con los que es posible transformar las ondas de ultrasonido en ondas audibles se denominan detectores ultrasónicos o medidores de ultrasonido, con la utilización de estos instrumentos las señales de ultrasonido que han sido transformadas pueden ser escuchadas por medio de audífonos y en muchos casos pueden ser observadas en una pantalla.

Los detectores ultrasónicos son fáciles de manejar esto gracias que el comportamiento del sonido es direccional, la fuente de problema es detectada debido a que el sonido que se produce aquí es mucho más fuerte que en los demás puntos inspeccionados.

Los detectores ultrasónicos cuentan con un selector de frecuencias que le permite al usuario filtrar el ruido del ambiente y escuchar la onda ultrasónica con total claridad. A continuación se muestra el diseño interno de un detector ultrasónico. [4]

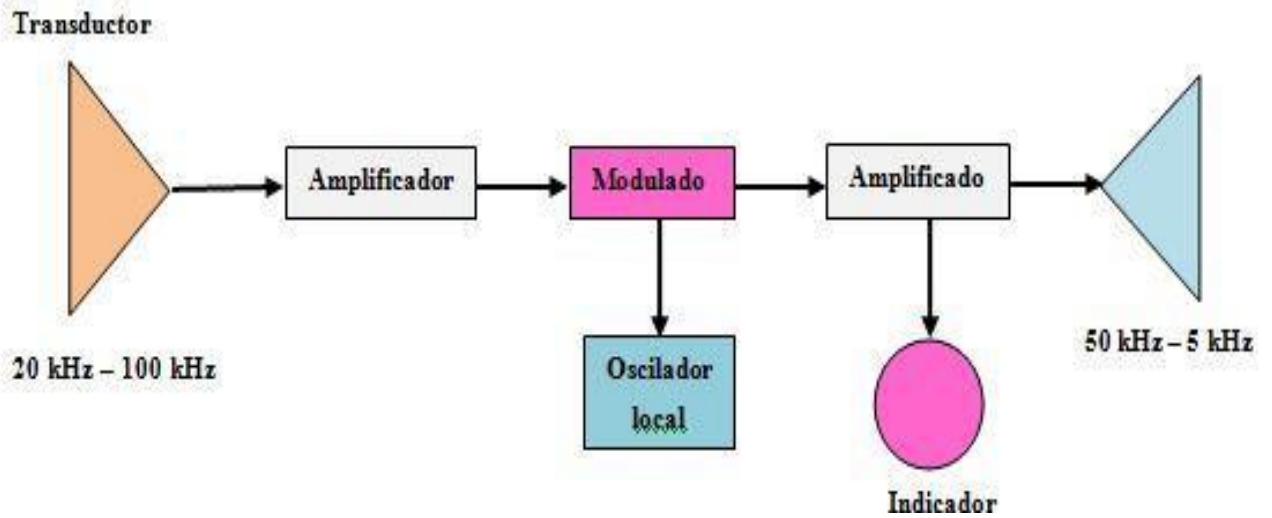


Figura. 6 Diseño de un detector de ultrasonido. [4]

Aplicaciones de la detección de ultrasonido:

Monitoreo de rodamientos: Un rodamiento sea este nuevo o usado en buenas o malas condiciones emite ondas de ultrasonido debido a la fricción entre sus partes por medio de la detección del ultrasonido se puede determinar su estado y también identificar si existe algún problema. [4]



Figura. 7 Monitoreo de rodamientos con ultrasonido pasivo

La inspección ultrasónica en el monitoreo de rodamientos es el método más fiable para la detección de fallos incipientes. Esta inspección es útil reconociendo inicios de fallo por fatiga, condiciones de falla y problemas de lubricación. Para lograr el objetivo de alargar la vida útil de los equipos mecánicos, en este caso los rodamientos, se pueden realizar cuatro métodos de inspección, que pueden ser tan sencillos como dirigirse directamente al punto donde se sospecha de la existencia de una anomalía, así como determinar la tendencia de un grupo específico de equipos críticos y observarlos detenidamente, lubricarlos cuando sea necesario y tomar acciones pertinentes cuando muestre signos de inicios de falla. Los métodos son los siguientes:

Calidad sonora: permite determinar si el rodamiento está en buen estado, en una etapa temprana de fallo o si este ya falló, identificando el sonido que este genera

por medio de la intensidad, indicada en decibeles (dB). Para esto es muy importante entender el funcionamiento del equipo mecánico.

Comparativo: comparando piezas con características similares tanto mecánicas como de operación, se puede dar cuenta cual debería ser el sonido normal del equipo y así poder identificar las anomalías o fallas.

Tendencia histórica: este método se lleva a cabo mediante lecturas en el tiempo y estableciendo una línea base para un equipo, logrando así determinar si el rodamiento se encuentra en buen estado, necesita lubricación y cuál es su etapa de falla. Este método es muy importante si se pretende desarrollar un programa de lubricación basado en condición.

Análisis con software: se pueden identificar anomalías grabando los sonidos y utilizando un programa de análisis espectral [4].

Detección de fugas de presión o vacío:

Los equipos detectores de ultrasonido detectan fácilmente el sonido proveniente de la turbulencia ocasionada por un escape de presión o vacío en los sistemas.



Figura. 8 Detección de fugas de presión o vacío por medio del ultrasonido
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Factores que causan las fugas en los sistemas:

Hay varios factores que hacen que una fuga se pueda detectar utilizando ultrasonido propagado en aire/ estructura, estos son: Turbulencia forma del Orificio, Viscosidad del Fluido, Diferenciales de Presión, Distancia a la Fuga, Ultrasonidos Competidores, acceso a la fuga, y condiciones atmosféricas.

Para detectar una fuga con ultrasonido propagado en aire, la fuga debe poseer ciertas características. La fuga debe ser turbulenta para emitir cualidades ultrasónicas. Algunos gases son menos densos que otros en cuyo caso tendera a fluir más rápido por un orificio dado. Si los diferenciales de presión entre alta y baja son mayores debido a la condición atmosférica en una fuga en comparación con otra, la turbulencia también será mayor. Un orificio grande en una instancia puede producir más turbulencia que un orificio pequeño pero en otra situación lo contrario puede ser cierto (en general, un orificio pequeño generará más ultrasonido que uno grande). Un orificio de bordes desiguales normalmente produce mayor turbulencia que una abertura suave. Una pared gruesa tendera a amortiguar algunas de las

fuerzas de presión y reducir diferenciales de presión más que una pared delgada. El material absorbente al sonido como el hule producirá menos ultrasonido que un material conductivo como el acero inoxidable. [2]

Generalmente en los sistemas de aire comprimido existen fugas en cualquier parte como por ejemplo: 1) Mangueras, acoples rápidos, accesorios. 2) Equipos que regulan la presión. 3) En las trampas de condensado. 4) En las diferentes uniones de accesorios y tubería. [4]

Inspección de instalaciones eléctricas:

Las ondas ultrasónicas también son producidas por las descargas eléctricas y el efecto corona y que pueden ser detectadas a través del análisis por ultrasonido. El efecto corona afecta a los conductores eléctricos por encima de 1 kV. Produce ozono nocivo para el aislamiento, también produce ácido nítrico que oxida los metales en presencia de humedad y genera interferencias electromagnéticas.

El efecto corona se escucha como un zumbido constante, un sonido regular similar al producido al freír. Cuando se encuentra en un estado avanzado, se producen al azar sonidos de explosiones. El efecto corona avanzado tiene un tono más grave y más profundo.



Figura. 9 Inspección de instalaciones eléctricas utilizando la técnica de ultrasonido
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Las inspecciones de ultrasonidos para detección de fallos eléctricos se aplican a:

- Líneas de transmisión y distribución de alta tensión
- Inspecciones predictivas de subestaciones
- Conmutadores
- Transformadores
- Cuadros eléctricos de media y baja tensión

CAPITULO III: EFECTIVIDAD DEL ULTRASONIDO EN LA ANTELACIÓN DE FALLAS EN AEROGENERADORES

Que es un Aerogenerador:

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Las palas de un aerogenerador giran entre 13 y 20 revoluciones por minuto, según su tecnología, a una velocidad constante o bien a velocidad variable, donde la velocidad del rotor varía en función de la velocidad del viento para alcanzar una mayor eficiencia.[5]



Figura. 10 Aerogenerador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Características de un Aerogenerador:

Orientación automática:

El aerogenerador se orienta automáticamente para aprovechar al máximo la energía cinética del viento, a partir de los datos registrados por la veleta y anemómetro que incorpora en la parte superior. La barquilla gira sobre una corona situada al final de la torre.

Giro de las palas:

El viento hace girar las palas, que comienzan a moverse con velocidades de viento de unos 3,5 m/s y proporcionan la máxima potencia con unos 11 m/s. Con vientos muy fuertes (25 m/s) las palas se colocan en bandera y el aerogenerador se frena para evitar tensiones excesivas.

Multiplicación:

El rotor (conjunto de tres palas engarzadas en el buje) hace girar un eje lento conectado a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro desde unas 13 a unas 1.500 revoluciones por minuto.

Generación:

La multiplicadora, a través del eje rápido, transfiere su energía al generador acoplado, que produce electricidad.

Evacuación:

La energía generada es conducida por el interior de la torre hasta la base y, desde allí, por línea subterránea hasta la subestación, donde se eleva su tensión para inyectarla a la red eléctrica y distribuirla a los puntos de consumo.

Monitorización:

Todas las funciones críticas del aerogenerador están monitorizadas y se supervisan desde la subestación y el centro de control, para detectar y resolver cualquier incidencia.

Estructura interna de un aerogenerador:

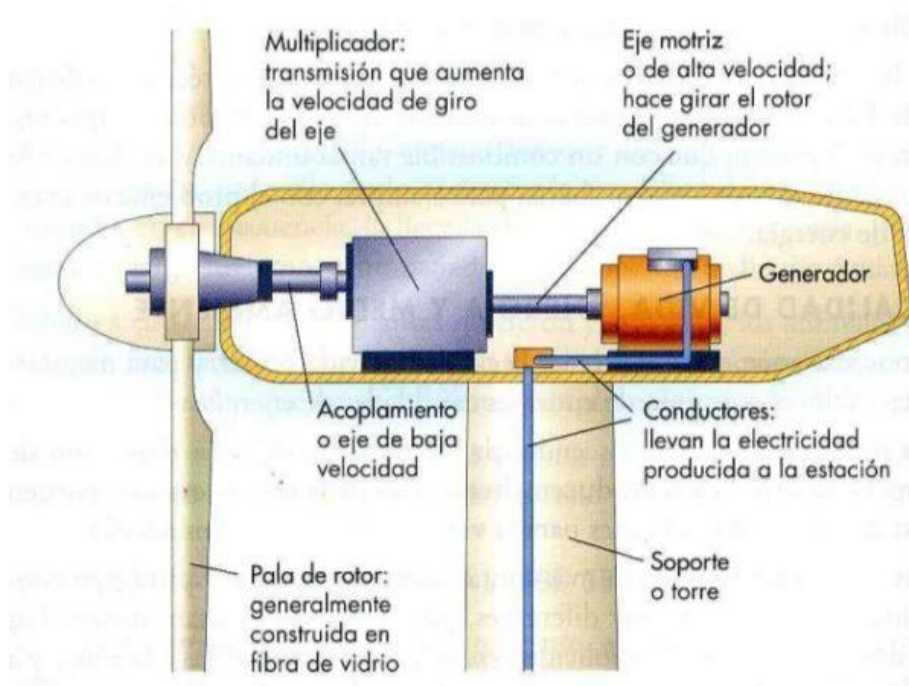


Figura. 11 Estructura interna de un Aerogenerador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

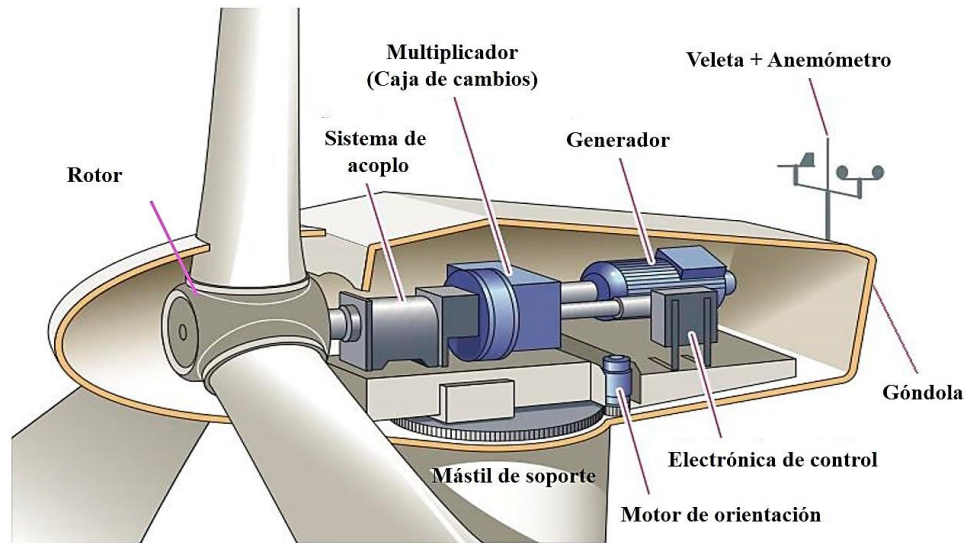


Figura. 12 Estructura interna de un Aerogenerador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Rodamiento de Palas:

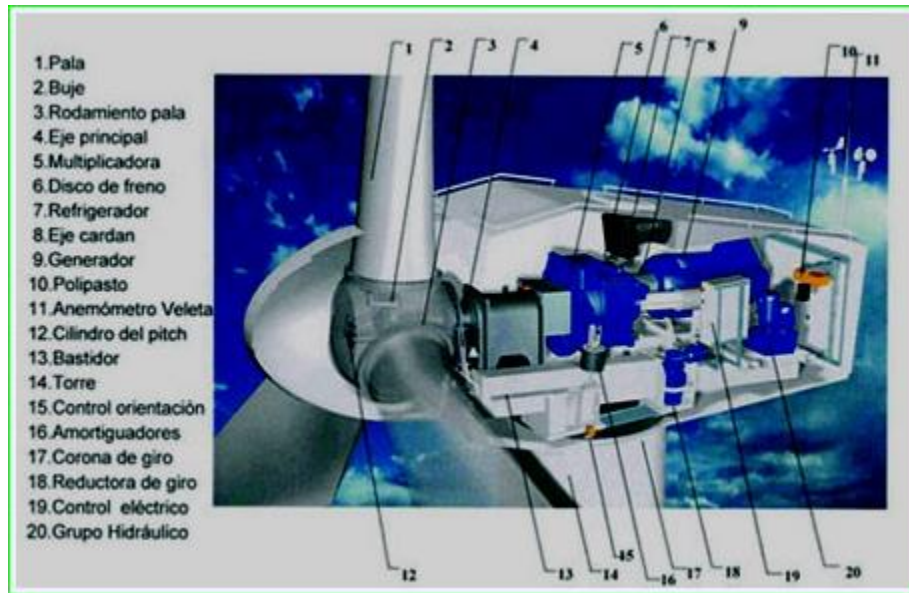


Figura. 13 Estructura interna de un Aerogenerador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

El sistema de giro de las palas se alimenta de una bomba hidráulica a través de una unión rotatoria, situada detrás de la multiplicadora. La unión está equipada con rodamientos hidrostáticos

Generador:



Figura. 14 Generador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Ubicación del generador en la turbina:

El generador asíncrono es uno de los principales componentes de la turbina, se convierte la energía mecánica de la caja de cambios en energía eléctrica, el generador está conectado a la red, que transfiere la energía eléctrica para el consumidor.

La frecuencia de la red de suministro es o bien 50 o 60 Hz (V90 solamente 50Hz); la velocidad de rotación del generador depende de la frecuencia y controlador de sistema (VRCC → 10% de deslizamiento). Por lo tanto, la caja multiplicadora tiene diferentes relaciones de transmisión en 50 Hz y 60 Hz para obtener la misma velocidad del rotor.

Se inspeccionará todas las partes rotativas del generador para determinar con ello si los componentes internos tienen algún tipo de daño, en este caso los rodamientos o balineras de dichos componentes.

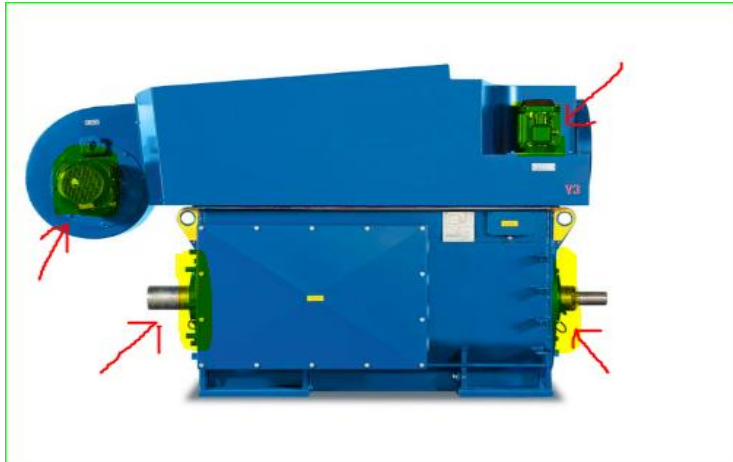


Figura. 15 Puntos de Inspección de los Rodamientos del Generador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

La dinámica consiste en tomar el muestreo en puntos específicos e ir guardando los datos en un programa llamado DMS o spectralizer. Una vez cargados esos datos ahí determinaremos la condición de los componentes. De esta forma podremos determinar:

- ❖ Si es necesario reemplazarlos
- ❖ Si solamente se necesita lubricación de ellos
- ❖ Si es necesario un seguimiento según las condiciones encontradas en los componentes inspeccionados.

Estos programas se pueden descargar en la página de UE Systems:
<http://www.uesystems.eu/es/centro-de-aprendizaje/download-software/>.

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultra sonido propagado en aire y estructuras”

DMS

>> [Descargar DMS 6.3](#)

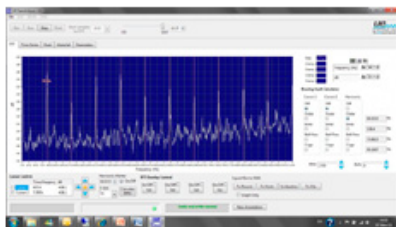
Haga clic [aquí](#) para descargar una versión anterior de DMS

Nota: necesitará convertir sus bases de datos del DMS 5 y versiones anteriores para que estas funcionen en el DMS 6. Póngase en [contacto con nosotros](#) y le ayudaremos en este proceso.

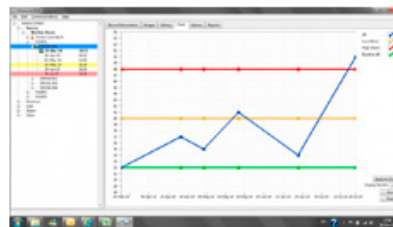
Spectralyzer

>> [Descargar Spectralyzer 4.2](#)

Nota: la versión más reciente de DMS no es soportado por Windows Server 2003, póngase en [contacto con nosotros](#) para recibir la versión DMS 5.1.8 a ejecutable en esta versión de Windows.



Spectralyzer 4.2



DMS 6

Figura. 16 Software de medición DMS o Spectralyzer
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Caja multiplicadora:



Figura. 17 Caja Multiplicadora del Aerogenerador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

La caja multiplicadora es el elemento del aerogenerador que multiplica las revoluciones de giro del conjunto buje- aspas (palas) y divide en la misma

proporción la fuerza de dicho eje. La velocidad de giro del conjunto eje-palas suele oscilar entre las 15 y las 25 rpm en función del viento. Pero, debido a frecuencias eléctricas de la red (60HZ), esta velocidad de giro es insuficiente, teniendo que elevarse a un régimen de giro de 1200-1800 rpm. Cuenta con engranajes en varias etapas

Rodamientos:

Estos componentes permiten la guía y la rotación de los ejes, son los encargados de transmitir las fuerzas producidas por los engranajes a la carcasa donde están fijados. Su principal características son la cantidad de rodillos que tienen. Es en esta parte donde se establecerán los puntos para tomar el muestreo con el ultrasonido.

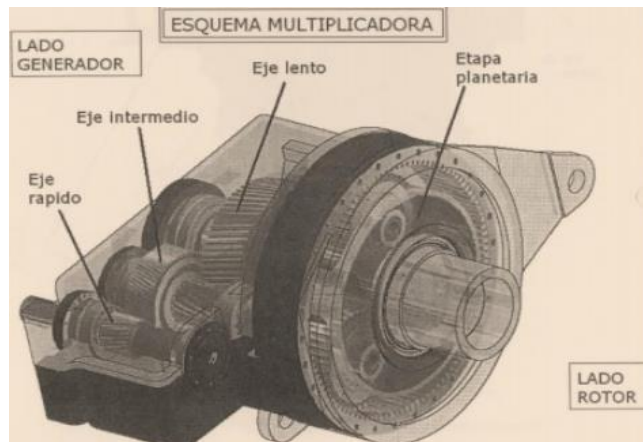


Figura. 18 Rodamientos del aerogenerador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Transformador:



Figura. 19 Ubicación del transformador en la turbina del Aerogenerador
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

El transformador se encuentra en la góndola. Es tipo seco de tres fases, auto extingible. Transforma el 690V del generador en alto voltaje (6-35 kV). Un cable de alto voltaje se monta desde el transformador en la góndola hasta la parte inferior de la torre. El interruptor de alta tensión se encuentra en la parte inferior de la torre. En estos puntos se realizará muestreo para detecciones de fugas de corriente (arcos eléctricos)

Inspecciones de rodamientos por ultrasonido pasivo:

El ultrasonido pasivo es una técnica efectiva en la antelación de fallas significativas o de gran magnitud en los aerogeneradores

Estudia las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por determinados equipos e instalaciones y que no son audibles por estar fuera del rango de captación del oído humano 20 a 20000 Hz. El análisis y la detección de estos equipos de alta frecuencia permiten, entre otras cosas.

Los ultrasonidos permiten detectar:

- Detección de fricción en máquinas rotativas.
- Detección de fallas y/o fugas en válvulas.
- Detección de fugas de fluidos.
- Pérdidas de vacío.
- Detección de "arco eléctrico".
- Verificación de la integridad de juntas de recintos estancos.

- Aplicaciones
- Detección de fugas de aire comprimido.
- Inspección de trampas de vapor.
- Localización de fallos eléctricos.
- Localización de fallos en transformadores.
- Arco
- Corona
- Tracking
- Detección de cavitación en bombas.
- Monitoreo de rodamientos y equipos rotativos.
- Falta de lubricación.
- Exceso de lubricación.
-

Esta tecnología se basa en que casi todas las fricciones mecánicas, arcos eléctricos y fugas de presión o vacío producen ultrasonido en frecuencias cercanas a los 40 KHz, y de unas características que lo hacen muy interesante para su aplicación en mantenimiento predictivo: las ondas sonoras son de corta longitud atenuándose rápidamente sin producir rebotes. Por esta razón, el ruido ambiental por más fuerte que sea, no interfiere en la detección del ultrasonido. Además, la alta direccionalidad del ultrasonido en 40 kHz permite con rapidez y precisión la ubicación del fallo. [6]

La siguiente tabla nos muestra el incremento de la amplitud en decibeles como severidad máxima referencial a partir de los 8 dB, proporcionada por los fabricantes del equipo para realizar un análisis de comportamiento y su acción para ejecutar su mantenimiento.

Tabla. 2 Severidad del sonido con ultrasonido pasivo. [6]

Modos de falla del rodamiento	Decibeles sobre la referencia [dB]	Acción
Pre-falla o falta de lubricación	8-10	Lubricar y retomar las lecturas
Primer síntomas o comienzo de la falla	10-12	Vigilar en el tiempo
Falla	13-16	Programar su reemplazo (próximo período conveniente)
Falla catastrófica	35-50	Remover y reemplazar de inmediato

Fuente: UE System.

Inspección de Rodamientos por ultrasonido:

Cualquier clase de rodamiento, ya sea nuevo o usado, en buen o mal estado, tiene la capacidad de emitir ondas de ultrasonido producidas por la fricción entre las partes del elemento, por medio del análisis de ultrasonido se puede determinar el estado actual del elemento y a su vez identificar si existe o no algún problema.[6]

Mediciones en estado normales de funcionamiento:

Los espectros mostrados a continuación corresponden a datos tomados por técnica de ultrasonido en condiciones normales de funcionamiento para el rodamiento

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras”

6204_RS, lo cual significa que aún no hay presencia de ningún tipo de falla incipiente en el rodamiento.

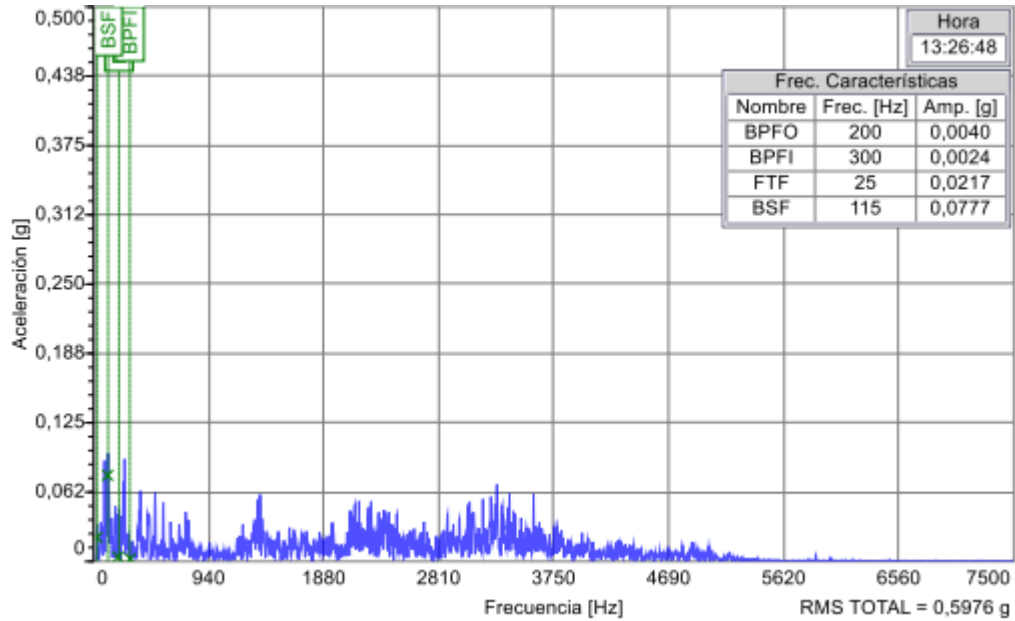


Figura. 20 Espectro de vibraciones en aceleración de rodamiento rígido de bola. [6]

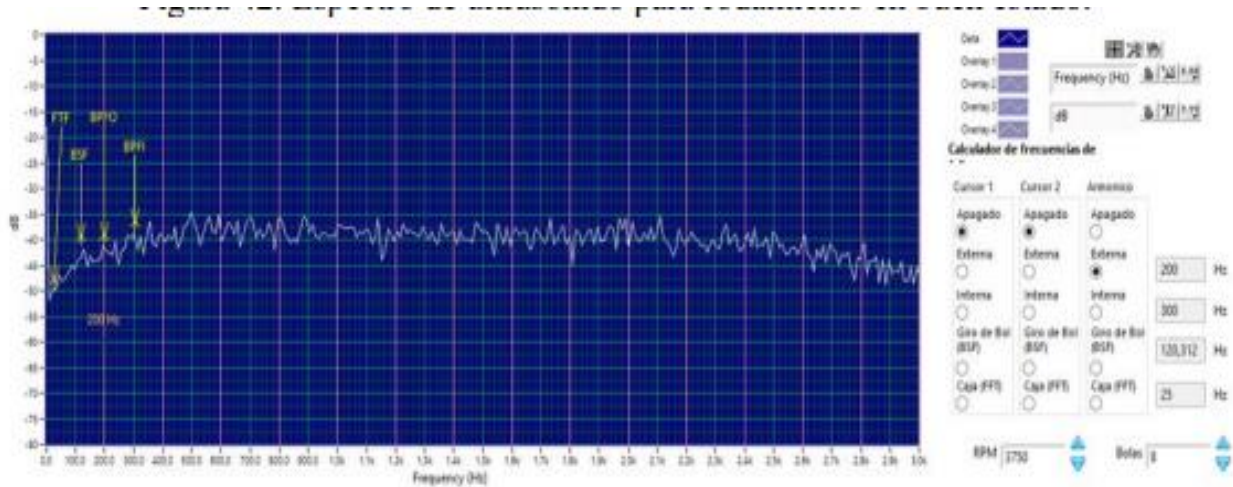


Figura. 21 Espectro de ultrasonido para rodamiento en buen estado [6]

A continuación técnica de análisis de ultrasonido para rodamiento dañado ligeramente se observa un incremento en las demás frecuencias pertenecientes a los otros componentes del rodamiento.

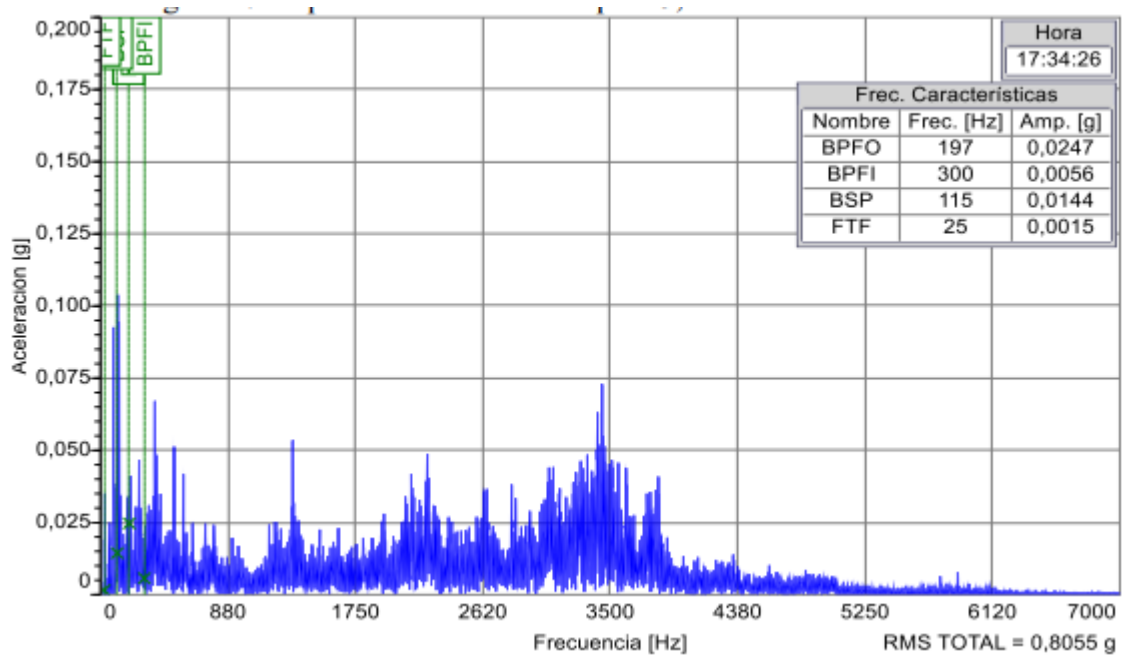


Figura. 22 Espectro de ultrasonido para rodamiento en mal estado [6]

Fallas típicas en aerogeneradores:

Los principales componentes de un aerogenerador que necesitan ser monitoreados se muestran en la Fig. 18 esto es las palas, rotor, el eje, multiplicador, sistema de orientación, y el generador eléctrico. Todos estos componentes son inevitablemente sujetos a fallos durante el funcionamiento del aerogenerador. [7]

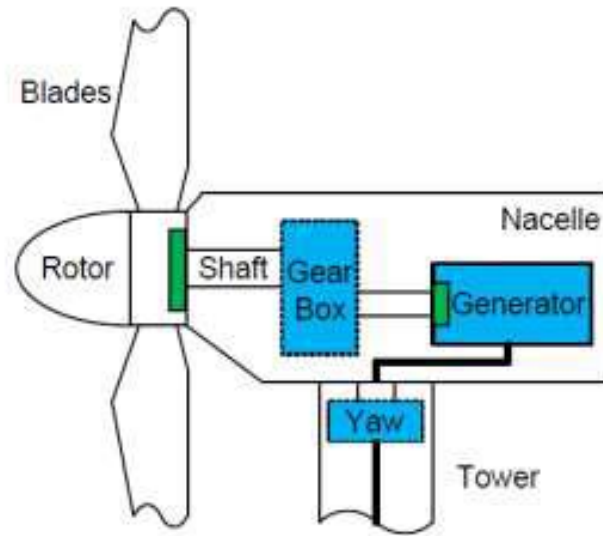


Figura. 23 Principales componentes de un aerogenerador que se deben supervisar [7]

Los aerogeneradores están sometidos a diferentes tipos de fallas. Algunas fallas son más frecuentes que otras, pero con el fin de compararlos es necesario tener en cuenta el tiempo de inactividad que podría obligar a parar todo el sistema. Por lo tanto, las fallas de turbinas eólicas deben ser estudiadas estadísticamente, considerando las frecuencias de fallos y tiempos de parada. Desafortunadamente, el acceso a las estadísticas de fallas de los aerogeneradores no está siempre permitida por el fabricante y es totalmente comprensible la mayoría de las fallas están relacionados con el sistema eléctrico, los diferentes sensores, el “pitch” de las palas y el sistema de control. [7]

CAPITULO IV: BENEFICIOS EN EL SISTEMA DE MONITOREO DE LOS AEROGENERADORES EN LA DETECCIÓN DE FALLAS Y EN PRO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EFICIENTE.

Sistema de monitoreo de la condición. (Condition Monitoring System, CMS):

El CMS juega un papel primordial para un procedimiento de mantenimiento eficiente. Permite la detección de problemas potenciales en una etapa temprana. Esta información se puede utilizar para programar las tareas de mantenimiento o reparaciones antes de que el problema se intensifique, permite mejorar la disponibilidad de la máquina y reducir los costos de mantenimiento. También ayuda a desplegar los equipos humanos de servicio y mantenimiento a los aerogeneradores que realmente lo necesitan [7]

El Sistema de monitoreo de la condición por sus siglas en inglés (“Condition Monitoring System, CMS”) desempeña un papel fundamental en el establecimiento de un mantenimiento basado en la condición y la reparación, que puede ser más beneficioso que el mantenimiento correctivo y preventivo. Un CMS con algoritmos integrados de detección de fallos permite alertas tempranas de defectos mecánicos y eléctricos para prevenir grandes averías de componentes. Los efectos secundarios sobre otros componentes pueden reducirse significativamente. Muchos defectos pueden ser detectados mientras que el componente defectuoso se encuentra todavía en funcionamiento. Dado que la sustitución de los principales componentes de un aerogenerador es un asunto difícil y muy costoso, la mejora de los procedimientos de mantenimiento puede conducir a reducciones importantes de costos. [7]

La implementación de sistemas de detección de fallas por sus siglas en inglés FDS (“Fault Detection Systems”) conlleva beneficios para una correcta operación del equipo, debido a las características principales del sistema de alerta temprana porque el mantenimiento basado en la condición se lleva a cabo a pesar de mantenimientos correctivos o preventivos. Se necesita una inversión inicial para desarrollar e implementar el FDS pero la producción continua de energía compensa sustancialmente el costo de inversión. Por lo tanto, una FDS para la turbina eólica puede ofrecer una serie de beneficios, como por ejemplo:

- Evitar el deterioro prematuro
- Supervisión en sitios remotos
- Mejora del factor de capacidad

Como se puede ver en el diagrama presentado en la Fig. 26, CMS se hace en tres etapas principales: adquisición de datos por medio de sensores, procesamiento de señales y extracción de características que incluye recuperación de parámetros que ayudarán a establecer el estado actual del equipo monitoreado. [7]

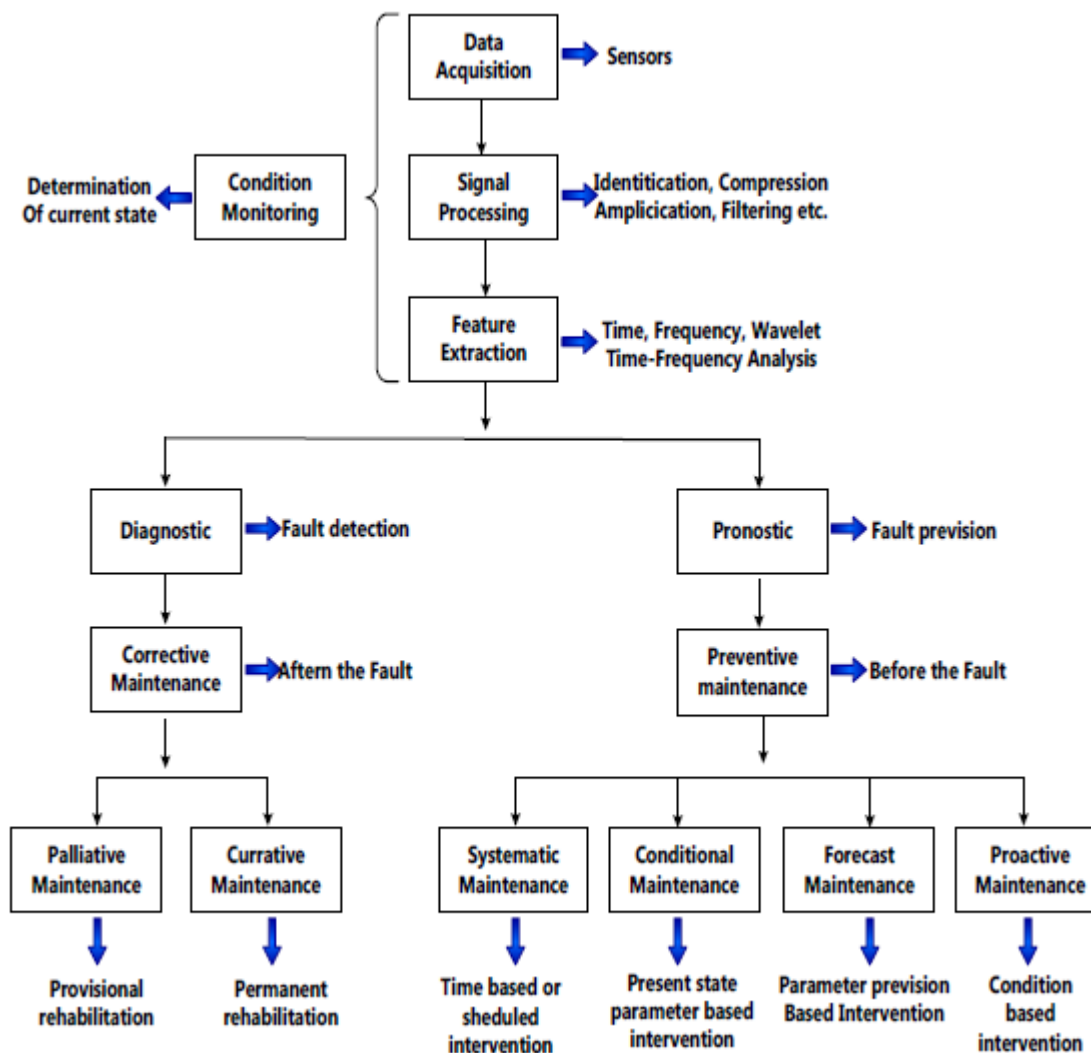


Figura. 24 Descripción general de CMS y proceso de mantenimiento en aerogeneradores. [7]

Fundamentos de las técnicas de CMS:

Para prevenir fallas severas en componentes críticos del aerogenerador como las palas, los rodamientos principales, el eje, el multiplicador, el generador y componentes asociados, la torre y la base, el CMS adecuado debe estar basado según en ensayos destructivos y no destructivos, las principales técnicas se describen a continuación: [7]

Análisis de la vibración (VA):

Es la tecnología más conocida en CMS, especialmente para los equipos rotativos. Como se puede observar en la Fig. 27 el análisis de la vibración es la tecnología más eficiente para la predicción temprana y detección de fallas en los equipos mecánicos. La tecnología del sensor utilizado se selecciona teniendo en cuenta la gama de frecuencias y las condiciones de operación. En cuanto a las aplicaciones esta técnica es adecuada para el control de la caja multiplicadora, de los cojinetes y de otros elementos del aerogenerador a continuación: [7]

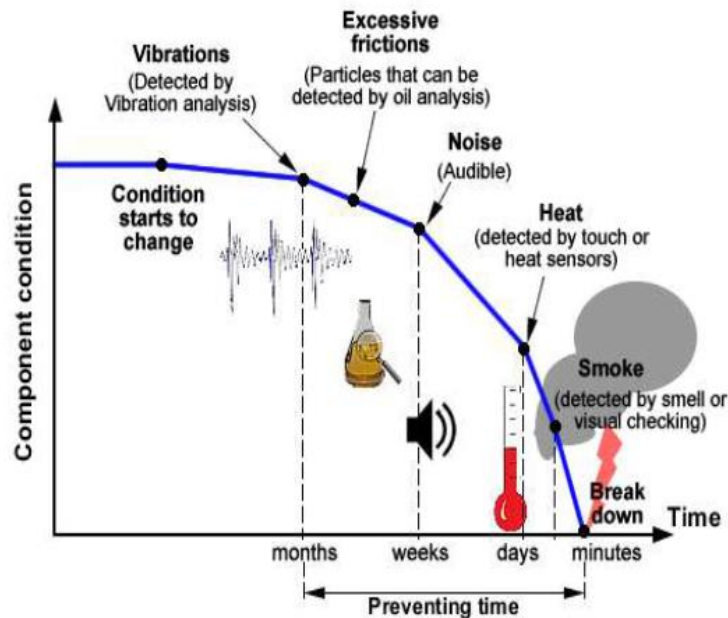


Figura. 25 Desarrollo típico de un fallo mecánico
Fuente extraída de [7]

La mayoría de CMS de aerogeneradores disponibles comercialmente son los sistemas de análisis de vibración, que son débiles en la detección de los fallos que se producen en los subconjuntos eléctricos y electrónicos del aerogenerador. Además, las normas de evaluación de vibraciones existentes (por ejemplo, ISO 10816/2372, ISO IS 3945, IS ISO 7919 y VDI 2056) son definidas principalmente

para aquellas máquinas que trabajan bajo carga constante y el aerogenerador no se ajusta exactamente a esta definición. Por otra parte, la carga que varía constantemente y las condiciones operativas experimentadas por el aerogenerador dejan una gran influencia en sus señales de vibración [7].

En (Maldonado et. al 2019) se presenta una investigación sobre la utilización de la transformada S, como herramienta de análisis de fallos del aerogenerador, con énfasis en la evaluación del estado de los engranajes y rodamientos, se aborda los aspectos relacionados a CMS y a las señales de vibración en el aerogenerador.

Análisis del aceite (OA):

El análisis de los desechos de aceite ha demostrado ser una técnica CM viable para la detección temprana y búsqueda de los daños en los cojinetes y engranajes del multiplicador de velocidad. En la mayoría de los casos, el aceite se bombea en un sistema de circuito cerrado y los desechos de metal de una rueda dentada agrietada o rodamiento son capturados por un filtro. La cantidad y tipo de residuos metálicos pueden indicar el estado del componente, Esta técnica tiene tres propósitos principales: (i) supervisar la condición del lubricante, (ii) mantener la calidad del aceite y (iii) la protección de los componentes implicados. Algunas pruebas se emplean generalmente en el proceso de análisis de aceite, entre las principales están: análisis de la viscosidad, análisis de la oxidación, contenido de agua, análisis de contenido de ácido, análisis de conteo de partículas, y la de temperatura [7].

Medición de temperatura (TM):

El control de la temperatura del componente observado es uno de los métodos más comunes de CM. Ayuda a detectar la presencia de cualquier fallo potencial relacionado con el cambio de temperatura en el equipo. En la industria de la energía eólica se aplica sobre los componentes tales como rodamientos, líquidos, devanados del generador, etc. Pirómetros ópticos, termómetros resistentes y

termopares son algunos de los sensores utilizados en TM. A diferencia de la termografía, este ensayo proporciona información sobre el proceso de deterioro continuo en el componente por la fricción mecánica excesiva debido a los rodamientos defectuosos, las propiedades del lubricante o mal estado de conexiones eléctricas. [7]

Medición de tensión estructural (SM):

Es una técnica común para la determinación de la calidad estructural. Se está convirtiendo cada vez más importante en la industria de la energía eólica para aplicación en las palas y la torre de los aerogeneradores. En las turbinas eólicas, la medición de la tensión puede ser muy útil para la predicción de vida útil y determinar el nivel de deformación, especialmente de las palas [7].

Emisión acústica (EA):

Se basa en la liberación de energía en forma de ondas elásticas transitorias dentro de un material que tiene un proceso de deformación dinámica, Esta técnica ha sido utilizada con éxito no sólo en la evaluación de los rodamientos y cajas multiplicadoras, sino también para la detección de daños en las palas de los aerogeneradores. Los principales inconvenientes de AE son su costo elevado, y que sólo unos pocos tipos de defectos están presentes en la gama de alta frecuencia. Otra limitación de AE es la atenuación de la señal durante la propagación [7].

Las pruebas por ultrasonido son técnicas ampliamente utilizadas por la industria de la energía eólica para la evaluación estructural de las torres y palas de aerogeneradores. UT se emplea generalmente para la detección y evaluación cualitativa de la superficie y defectos estructurales. La aplicación de UT implica una o más de las siguientes mediciones: tiempo de viaje de onda, longitud de la

trayectoria, frecuencia, ángulo de fase, amplitud, la impedancia acústica, y el ángulo de deflexión de onda [7].

Análisis termo gráfico (TA):

Se aplica a menudo para el monitoreo y la identificación de fallas de los componentes electrónicos y eléctricos. Los puntos calientes, debido a la degeneración de los componentes o mal contacto se pueden identificar de una manera sencilla y rápida. La técnica se aplica sólo fuera de línea, y a menudo involucra la interpretación visual de los puntos calientes que surgen debido al mal contacto o un fallo del sistema [7].

Inspección radiográfica:

Aunque proporciona información útil sobre la condición estructural de los componentes del aerogenerador, esta técnica basada en imágenes radiográficas utilizando rayos X, sólo se utiliza raramente en la industria eólica. La técnica es muy eficiente en la detección de grietas y fallas de laminación de la pala y del rotor, así como la estructura de la torre [7].

Método de impulsos de choque (SPM):

Se ha utilizado como un método cuantitativo para el monitoreo de la condición de los rodamientos, y funciona mediante la detección de los golpes mecánicos que se generan cuando una esfera o un rodillo en un rodamiento entra en contacto con un área dañada del canal de conducción o con residuos [7].

Inspección visual (VI):

Es sin duda una de las más antiguas técnicas de CM, se basa en las capacidades sensoriales de la persona y puede servir como un complemento a otras técnicas de CM. VI incluye la audición de sonidos emitidos por el sistema de funcionamiento, tocar (temperatura y la comprobación de la vibración) y la inspección visual (deformación, aspectos, etc.). Se utiliza generalmente para controlar componentes como palas, la góndola, rodamientos, generador, transformadores, etc. [7]

Performance Monitoring:

En la supervisión del rendimiento de aerogenerador las lecturas de los parámetros, tales como el factor de capacidad de la planta, potencia, velocidad del viento, la velocidad del rotor y la pala, etc., se comparan con los manuales del operario o especificaciones de rendimiento entregadas por el fabricante para determinar si el sistema está funcionando con óptima eficiencia.

Análisis de datos SCADA:

En la mayoría de los aerogeneradores modernos es común encontrar sistemas SCADA. El CM de un aerogenerador mediante el análisis de datos SCADA es rentable y confiable. Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (en este caso cada uno de los distintos aerogeneradores del parque) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora.

El SCADA recopila información de los subsistemas de aerogenerador, utilizando para el efecto sensores tales como anemómetros, termopares y switches. La

información obtenida puede ser del estado de funcionamiento de la turbina o mediciones de señales tales como la velocidad y dirección del Viento, temperatura, corrientes o presiones. Esta información puede reflejar eficazmente en tiempo real la condición de un aerogenerador o se puede deducir el estado de los componentes de la turbina eólica. [7]

Con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los aerogeneradores se hace imprescindible un plan de mantenimiento que permita la detección temprana de averías y el diagnóstico de fallas. El sistema de monitorización del estado (condition monitoring system CMS), permite a los operadores conocer el estado real de los principales componentes de los aerogeneradores en tiempo real, optimizando así el costo de operación y la efectividad del mantenimiento.

Los conceptos de CMS y FDS presentados en este documento se pueden aplicar para monitorear, distinguir y detectar fallas en los componentes principales de un aerogenerador. La aplicación de estas técnicas implica una inversión económica inicial, pero estas inversiones son compensadas por los beneficios de producción continua de energía, por tiempos de parada mínimos y más tiempo disponible para una planificación temprana para el reemplazo de las partes defectuosas.

CAPITULO V: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ORGANIZACIÓN, OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS LOGISTICOS Y FORTALECIMIENTO DEL PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, EN AEROGENERADORES.

Blue Power & Energy

Es una empresa miembro de Terra, Energía, La empresa seleccionó al fabricante de turbinas eólicas Vestas, para comenzar el proyecto en Nicaragua. Ya que es un país viable en Centroamérica para el desarrollo de energía eólica, Vestas recibió la orden para la fabricación de 22 unidades generadoras de 1.8 MW cada una, para el proyecto eólico La Fe, que generará 40 MW de energía y se ubica en San Martín, Nicaragua. Departamento de Rivas, Explota el 23.2% de un potencial de 800 Megavatios, Mw, con cuatro plantas instaladas en el departamento de Rivas, según datos del sector energético del país.”[8]

Perfil de la empresa

Vestas es el socio global de la industria energética en soluciones de energía sostenible. Diseñamos, fabricamos, instalamos y damos servicio a turbinas eólicas en todo el mundo y, con más de 108 GW de turbinas eólicas en 80 países, hemos instalado más energía eólica que nadie.

A través de nuestras capacidades de datos inteligentes líderes en la industria y 90 GW incomparables de turbinas eólicas en servicio, utilizamos datos para interpretar, pronosticar y explotar los recursos eólicos y brindar las mejores soluciones de energía eólica en su clase. Junto con nuestros clientes, los más de 25.000 empleados de Vestas están aportando al mundo soluciones de energía sostenible para impulsar un futuro brillante.

Estrategia corporativa

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras”

Nuestra visión a largo plazo

Líder mundial en soluciones energéticas sostenibles.

Nuestros objetivos a medio plazo

Líder mundial en soluciones de plantas de energía eólica

Líder mundial en soluciones de servicios eólicos

Nuestras prioridades y fundamentos a medio plazo

Creación de valor para el cliente líder en la industria, Innovación y cartera de productos líderes en la industria Coste, eficiencia y calidad de la cadena de suministro líder en la industria Ingresos por servicios líderes en la industria y crecimiento de ganancias Sostenible · Capital eficiente · Talentoso · Digital

Nuestros valores

Responsabilidad · Colaboración · Sencillez · Pasión

Historia de Vestas

110 años de experiencia, fuerza de voluntad y pasión, aprovechando el poder de la energía moderna a medida que el mundo avanza hacia el siglo XXI. Liderado la industria hacia el futuro.

Definición de Mantenimiento

La terminología del mantenimiento se encuentra reflejada en la normativa UNE-EN

13306-2011 y en la misma se define el mantenimiento como “una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida”.

En esta definición podemos destacar los siguientes conceptos, algunos definidos También en la misma norma (AENOR, 2011): [9]

- Ciclo de vida, serie de estados por los que pasa un elemento desde su concepción hasta su eliminación.
- Conservar, entendido en el sentido de prevenir fallos.
- Restablecer, es decir, corregir o subsanar fallos.
- Estado, parámetros de la máquina o sistema.
- Función requerida, condición necesaria para dar un servicio dado. Una de las
- Funciones más importantes es la seguridad de funcionamiento.

Objetivos del Mantenimiento

La terminología del mantenimiento según AENOR (2011) nos indica que cualquier Gestión de mantenimiento debe definir su estrategia de mantenimiento de acuerdo a los siguientes objetivos:

- Asegurar la disponibilidad de los elementos para la función requerida al coste
- mínimo.
- Considerar los requisitos de seguridad para las personas y cualquier otro
- requisito obligatorio asociado a los elementos.
- Considerar cualquier impacto sobre el medio ambiente.
- Mantener la durabilidad de los elementos.

Tipos de Mantenimiento:

Existen diversas normas de mantenimiento que proponen diferentes clasificaciones del mantenimiento según su tipo, entre las que podemos destacar la norma europea y española UNE-EN 13306-2011, la francesa AFNOR X 60-010:1994 y la italiana UNI 10147/00. En la Figura 14 se realiza una clasificación tomando como referencia dichas normas. [9]

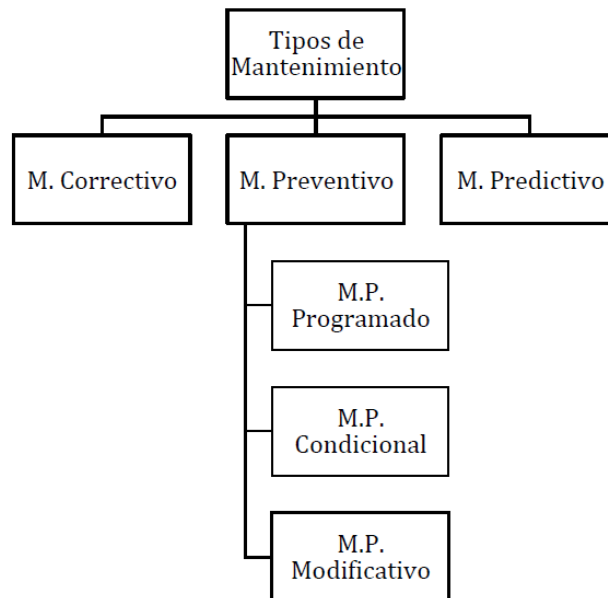


Figura. 26 Tipos de Planes. [9]

En base a esta clasificación tenemos (AENOR, 2011) [9].

Mantenimiento Correctivo

“Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una Función requerida”.

Mantenimiento Preventivo

“Mantenimiento que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con Criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento”. Podemos distinguir dentro del Preventivo tres tipos:

Mantenimiento Preventivo Programado

“Mantenimiento que se realiza de acuerdo con un programa de calendario Establecido o un número establecido de unidades de utilización”.

Mantenimiento Preventivo Condicional

Mantenimiento que se realiza cuando se cumple un hecho determinado en base a la información recibida del elemento.

Mantenimiento Preventivo Modificativo

Mantenimiento que se realiza cuando se realizan modificaciones en los equipos con el objetivo de evitar averías e incrementar su fiabilidad y disponibilidad. Para este propósito se pueden realizar modificaciones de materiales, componentes, diseño.

Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento basado en la

Condición por sus siglas en ingles CBMM: (“Condition, Based Monitoring/Maintenance,”), se realiza siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento. Este mantenimiento incluye la monitorización de la condición de forma continua o discontinua.

Este tipo de mantenimiento es una metodología de trabajo que basa sus actuaciones en la evolución de una o varias variables que sean representativas del funcionamiento de los equipos sobre los que se les aplica este mantenimiento. En este mantenimiento se deben utilizar técnicas estadísticas para el tratamiento de los valores de las variables medidas, para obtener tendencias de evolución, curvas de Regresión de fallos y predicciones de las condiciones futuras de los equipos (González Fernández, 2005). [9]

Este tipo de mantenimiento se define como el conjunto de actividades de monitoreo periódico de la maquinaria y sus componentes; con la finalidad de conocer su estado y predecir problemas potenciales o fallas que los equipos emiten al exterior a través de pruebas no destructivas y equipos de diagnóstico de alta tecnología, logrando con estos determinar cuando debería realizarse acciones correctivas. Se aplica a equipos críticos, donde el monitoreo sea confiable y económico. Es importante resaltar que debido al desgaste al que se encuentran sometidos los equipos, las fallas son algo inevitable. Sin embargo, se puede predecir el momento oportuno para realizar acciones de prevención o Algunos de los beneficios: [10].

- No influye en la disponibilidad de la maquinaria
- Predecir fallas futuras que pueden ocasionar paros no programados
- Mantenimiento preventivo más confiable
- Controlar la vida útil del equipo a través de historiales

Inconvenientes

- Requiere personal mejor formado e instrumentación de análisis costosa.
- Se puede presentar averías en el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.

Aplicaciones

- Maquinaria rotativa
- Motores eléctricos
- Equipos estáticos
- Aparata eléctrica
- Instrumentación

El mantenimiento predictivo debe estar debidamente documentado, con procedimientos, personal capacitado y plenamente definida su aplicación, tanto los equipos como los costos que implica el desarrollo de sus actividades. Su implementación está regida por un paso a paso definido que, a modo general, se compone de:

- Determinación de los equipos críticos
- Determinación de técnicas de inspección
- Definición de las rutinas predictivas y su frecuencia
- Capacitación del personal técnico
- Creación de historiales en sistemas computarizados
- Inicio y seguimiento de la ejecución y resultados de las rutinas.
- Medición de indicadores del proceso y mejora con base en retroalimentación de resultados.
- Costos de la matriz de predictivo.

Básicamente se trata de la aplicación de técnicas de inspección que buscan definir la tendencia operacional de un equipo, puede ser a través de la extrapolación o el resultado de la toma de datos por medio del monitoreo de diferentes variables.

La mejor forma de representar la evolución de las fallas en un equipo en general es por medio de la curva P-F, la cual también indica el momento en el que se aplica cada uno de los tipos de mantenimiento.

De esta forma se comprende que al inicio de cualquier falla, se presentan síntomas tan leves que son imperceptibles por el humano, las cuales se puede detectar fácilmente mediante algunas técnicas predictivas. Al no tener implementado el mantenimiento predictivo, la falla del equipo evoluciona y se hace perceptible, los operadores comienzan a percibir ruido o que el equipo se caliente más de la cuenta, entre otros síntomas. [10].

Ventajas del mantenimiento predictivo

Tomando en cuenta lo costoso que resultan los paros no programados de la maquinaria, dando como resultado reducción en el tiempo y cantidad de producción, al implementar un programa de mantenimiento predictivo y crear un departamento que dé seguimiento al mismo, es posible obtener una reducción en los costos de operación, al minimizar las reparaciones no programadas.

Es importante mencionar que el rendimiento en la época de zafra depende en gran parte del mantenimiento que se realice en la maquinaria y equipos durante la época de reparación, la calidad del mismo tiene una relación directa con el producto final, por lo que un plan de mantenimiento predictivo reducirá tiempos improductivos, aumenta el tiempo de la vida útil y mejorará la calidad del azúcar. [10]

Técnicas de mantenimiento predictivo

Existen diversas técnicas de análisis predictivo, sin embargo, se propone para la creación del departamento de confiabilidad iniciar con tres de estas, las cuales son: ultrasonido aéreo estructural, análisis de vibraciones y termografía infrarroja.

Técnica de análisis de vibraciones mecánicas

Una máquina ideal no produciría vibraciones, porque toda la energía producida se emplearía en el trabajo específico a realizar. En la práctica, esto no suele suceder, sino que se producen vibraciones a causa de los diversos mecanismos involucrados. Los elementos de la máquina reaccionan entre sí, transmitiéndose fuerzas por toda la estructura del equipo hasta disipar dicha energía en forma de vibraciones.

Las vibraciones son causadas por fuerzas de excitación internas y externas, las cuales dependen sobre todo del estado de la máquina y son transmitidas por medio de bases y estructuras, lo que causa fatiga en elementos mecánicos y vibraciones moduladas en el entorno. La severidad sobre los sistemas o equipos conlleva a condiciones críticas e inestables. [10]

En el mantenimiento predictivo por medio de la técnica de análisis de vibraciones se estudia la evolución en el tiempo del comportamiento de los equipos, lo cual ayuda a detectar las causas del exceso de vibración y programar acciones correctivas. Entre ellas se destacan:

- Técnica de análisis por medio de termografía
- Técnica de análisis por medio de ultrasonido

Mantenimiento basado en la condición (CBM) en Aerogeneradores

En el año 2007 empiezan a surgir los primeros estudios encaminados a la búsqueda de estrategias de mantenimiento más eficientes en los parques eólicos, a la vez que se empiezan a desarrollar los sistemas de monitorización. En este sentido se realiza un estudio (Nilsson & Bertling, 2007a), donde se asegura que la planificación de mantenimiento podría ser mucho más eficiente con el uso de los sistemas de monitorización de condición (CMS), lo que mejoraría la gestión del mantenimiento, Especialmente en parques eólicos marinos.

Estos sistemas serían capaces de supervisar continuamente las diferentes partes del aerogenerador, permitiendo determinar el momento óptimo para realizar las tareas de mantenimiento y la inversión económica realizada en los mismos sería claramente amortizada con los beneficios que genera.

El paso del tiempo y el desarrollo de los sistemas de monitorización han demostrado que la conclusión del anterior estudio era totalmente acertada. Este tipo de mantenimiento, sin duda, es el que mejor resultados aporta en los parques eólicos, Gracias al cual se alcanzan los más altos valores de fiabilidad y disponibilidad (Alsyouf & Ei-Thalji, 2008; García Márquez et al., 2012; May et al. 2015). [9]

La fiabilidad de los aerogeneradores de un parque eólico es fundamental para obtener la máxima energía disponible del viento, lo que conlleva una mayor producción de los parques, y reducciones de costes y paradas por averías con respecto a otros tipos mantenimiento (Amayri et al., 2011; Barberá et al., 2013; Costa et al., 2012; Puglia et al., 2014; May et al., 2015), mejorando los beneficios obtenidos por kilovatio producido, además incrementa la seguridad de los

aerogeneradores. Por estos motivos se ha extendido su aplicación en los actuales parques eólicos. [9]

Para realizar la implantación de un mantenimiento basado en la condición se debe Disponer de sistemas de monitorización de condición (CMS) que aporten la información necesaria del estado de los aerogeneradores, que será posteriormente tratada para definir los posibles riesgos de avería en los mismos y fijar el calendario óptimo de tareas de mantenimiento a realizar en los aerogeneradores.

En la Tabla 1 A continuación se muestran las técnicas de monitorización existentes y que se aplican a los diferentes componentes de los aerogeneradores (Yang, Tavner, Crabtree, Feng & Qiu, 2014). [9]:

Tabla. 3 técnicas de monitorización Existentes. [9]

Número Técnica	Técnica Monitorización	Componentes de aplicación
1	Medición de temperatura	Rodamiento principal, rodamientos de multiplicadora y generador, circuito de lubricación multiplicadora, convertidor, Transformador y góndola.
2	Análisis Termo gráfico	Eje principal y rodamiento principal, rodamientos de multiplicadora y generador, convertidor, transformador, Cuadros eléctricos, palas y góndola.

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras”

3	Análisis de aceite	Multiplicadora.
4	Análisis de vibraciones	Eje principal y rodamiento principal, rodamientos de generador, rodamientos y engranajes de la multiplicadora, palas, torre, elementos estructurales y Cimentación.
5	Ultrasonidos	Elementos estructurales, torre y palas.
6	Acústica	Rodamiento principal, multiplicadora, Generador, palas y torre.
7	Fibra óptica	Palas.
8	Medición de par	Palas, eje principal y rodamiento Principal.
9	Vibración torsional	Eje principal y multiplicadora.
10	Impulsos de choque	Rodamientos multiplicadora.
11	Análisis eléctricos	Componentes eléctricos y aparellaje.

Test de ultrasonidos

Las técnicas de monitorización por ultrasonidos se emplean para la detección de deficiencias estructurales de torres y palas de los aerogeneradores (Hyers, McGowan, Sullivan, Manwell & Syrett, 2006; García Márquez et al., 2012). Esta técnica se basa en la propagación y retorno de ondas de ultrasonidos en los materiales inspeccionados, en caso de existir defectos subsuperficiales estos generan alteraciones de las citadas ondas realizándose de esta forma la detección de fisuras, pérdida de espesor u otros tipos de defectos. [9].

Índices de mantenimiento

Uno de los objetivos del mantenimiento es asegurar la disponibilidad de los elementos, siendo por tanto la disponibilidad el indicador técnico de mantenimiento más importante. En la normativa UNE-EN 13306-2011, que aborda la terminología del mantenimiento, define la disponibilidad como “la aptitud de un elemento para encontrarse en un estado en que pueda realizar su función, cuándo y cómo se requiera, bajo condiciones dadas, asumiendo que se dispone de los recursos externos necesarios” (AENOR, 2011). Esta aptitud depende de la combinación de aspectos de fiabilidad, mantenibilidad y recuperabilidad de un elemento y de la capacidad logística del mantenimiento, donde la fiabilidad es “la aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado”. [9]

Logística de mantenimiento

La logística de mantenimiento está relacionada con la gestión y adquisición de todos los recursos necesarios para ejecutar las tareas de mantenimiento, siendo por tanto imprescindible que esta logística provea a los departamentos de mantenimiento los

recursos necesarios para evitar pérdidas de tiempo motivadas por falta de los mismos que van a provocar una pérdida de disponibilidad de los equipos.

A manera de resumen, tenemos que un elemento inicia su funcionamiento y mantiene su estado operativo durante el tiempo medio de funcionamiento hasta que se produce la avería. En este momento se inicia un período de indisponibilidad del elemento y, durante el mismo, se acometerá su reparación. Por último, una vez transcurrido este período de indisponibilidad, el elemento vuelve a recuperar su estado de disponibilidad quedando de nuevo operativo e iniciándose de nuevo el ciclo y así sucesivamente. Con el paso del tiempo, los valores medios pueden ir variando, siendo lo habitual que se reduzca el valor medio del tiempo de buen funcionamiento. [9]

El ultrasonido y el ahorro energético

El ultrasonido propagado en aire y estructuras es una técnica que se ha convertido en una de las principales herramientas dentro del mantenimiento predictivo. El amplio rango de aplicaciones que tiene esta técnica además de contar con una curva de aprendizaje reducida en comparación con otras técnicas de diagnóstico, son sus principales ventajas.

El ultrasonido puede utilizarse no solamente para inspecciones mecánicas, también tiene una aplicación muy valiosa en la detección de fugas en sistemas de aire comprimido. Con una inspección de la línea sin necesidad de contacto con la tubería la técnica de ultrasonido permite detectar fugas que puedan impactar en el consumo de aire comprimido. Con ello se consigue un ahorro en el consumo eléctrico en el uso de compresores.

El departamento de energía de EU ha estimado que el 30 % de todo el aire comprimido en EUA se pierde mediante fugas. Los resultados de las inspecciones típicas de aire comprimido han demostrado ahorros en el rango de miles de dólares

hasta los cientos de miles de dólares. Realizando la inspección y corrigiendo los problemas de una compañía se puede reducir el consumo de energía, incrementar la eficiencia, maximizar la productividad de aire, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e incrementar la seguridad. [10].

Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo con el uso de ultrasonido propagado en aire y estructuras

El parque eólico la fe está integrado por 22 aerogeneradores V90 de plataforma 2MW actualmente el mantenimiento predictivo está dividido en dos semestres, siguiendo las normativas de Vestas, quienes a su vez se guían por normas ISO, algunas actividades que se realizan son reapriete de pernos, pruebas en el controlador de la máquina, comprobación de estado de fibra de vidrio en toda la estructura, pruebas en el sistema de orientación, comprobación en góndola⁽¹⁾ y palas, engrase, revisar conexiones, comprobar niveles de aceite, limpieza y verificación de uniones, lubricación de cojinetes⁽²⁾, comprobaciones en el generador, revisión del sistema de refrigeración, revisión del sistema hidráulico, entre otras.

Nuestra propuesta investigativa, consiste en incluir en el plan de mantenimiento predictivo existente, un programa de monitorización de estado, haciendo uso de la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras. El objetivo principal de dicho programa es evaluar la criticidad de todas las máquinas con el fin de crear una lista priorizada de las unidades que necesiten una intervención o ya sea un seguimiento más minucioso. Se implementaría bajo las normas ISO 18436 e ISO 17359. La norma ISO 18436 proporciona el reconocimiento de las calificaciones y competencia de los individuos para llevar a cabo mediciones y análisis de ultrasonido para la condición de mecanismos de control usando equipo de ultrasonido. La norma Internacional ISO 17359 proporciona directrices para la monitorización de estado y diagnóstico de máquinas que utilizan parámetros tales

como la vibración, la temperatura, las velocidades de flujo, la contaminación, potencia y velocidad típicamente asociados con los criterios de rendimiento, condición y calidad.

El uso de la tecnología de ultrasonido en el monitoreo de la condición es una de las actividades clave de los programas de mantenimiento predictivo para la mayoría de las industrias. Es una tecnología no intrusiva que puede utilizarse como herramientas de análisis de condición complementaria. Con el tiempo de uso del ultrasonido se experimentará un retorno de la inversión muy por encima de las expectativas. Sin embargo, la eficacia de este programa dependerá de las capacidades de las personas que realizan las mediciones y análisis de los datos.

La detección de ultrasonidos se lleva a cabo con instrumentos que permiten al oído humano “escuchar” sonidos que se producen en frecuencias muy altas (a partir de 20 KHz.) que sin ayuda de estos instrumentos sería imposible oír. Al mismo tiempo, el instrumento es capaz de cuantificar la intensidad del sonido expresado en dB, mostrando su valor en un display de forma que haciendo mediciones periódicas podamos estudiar la evolución de un problema y su tendencia en el tiempo.

Se mencionó anteriormente que el ultrasonido tiene muchas aplicaciones, en este caso en particular será utilizado en la inspección de:

1. Cuarto de transformador (detecciones de fugas de corriente)
2. Rodamientos del eje de alta velocidad en caja multiplicadora
3. Cajas reductoras de velocidad
4. Paneles eléctricos (para detectar efecto corona y efecto tracking)
5. Motores de Recirculación
6. Rodamiento de palas



Figura. 27 Equipo Ultra probé 10000., Ultrasonido Propagado en el Aire
Fuente extraída de: <https://www.uesystems.com/>

Incorporando el uso de ultrasonido pueden hacerse muestreos en el primer semestre de mantenimiento. En el primer muestreo lo que se hace es recopilar todos los datos turbina a turbina, una vez que se tienen todos los datos se hace el análisis, se toma el muestreo que haya dado el menor grado de decibeles como línea base, teniendo la línea base se compara haciendo uso de la tabla comparativa, luego en el primer semestre de mantenimiento del siguiente año se analizan las tendencias; es decir, se realiza nuevamente el muestreo de manera que se pueda analizar si los datos han cambiado o se mantienen iguales, en caso de que haya cambiado y la tendencia es a subir debe programarse un monitoreo dos veces al mes por ejemplo, de esta forma antes de que el equipo falle y provoque una falla más grande en los demás componentes, se cambia. Al echar a andar la máquina se hace el muestreo y si se obtiene una nueva línea base y se eliminara la anterior.

A continuación propuesta de mantenimiento predictivo en la Figura 30 y 31, se realizó un marco de trabajo en la herramienta informática o hoja de cálculo Microsoft Excel, la cual se someterá a aprobación ante el departamento de mantenimiento e

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras”

ingeniería, utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras para la antelación de posibles fallas potencialmente peligrosas, en Vestas Nicaragua. Para iniciar a ejecutarse en la semana 41, que inicia 5 octubre 2020, se realizó, un marco de trabajo el cual centra en los mantenimientos preventivos, revisiones anuales seguridad, así como la identificación de las mejoras de los componentes internos de los Aerogeneradores, ya sea mejoras de software o partes mecánicas, por último se determinara el indicador de registro y seguimiento de las sub estaciones del parque eólico, donde se tomen todas las previsiones, para generar un histórico técnico, estadístico por la compañía ejecutor Blue Power & Energy 2020.

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras”

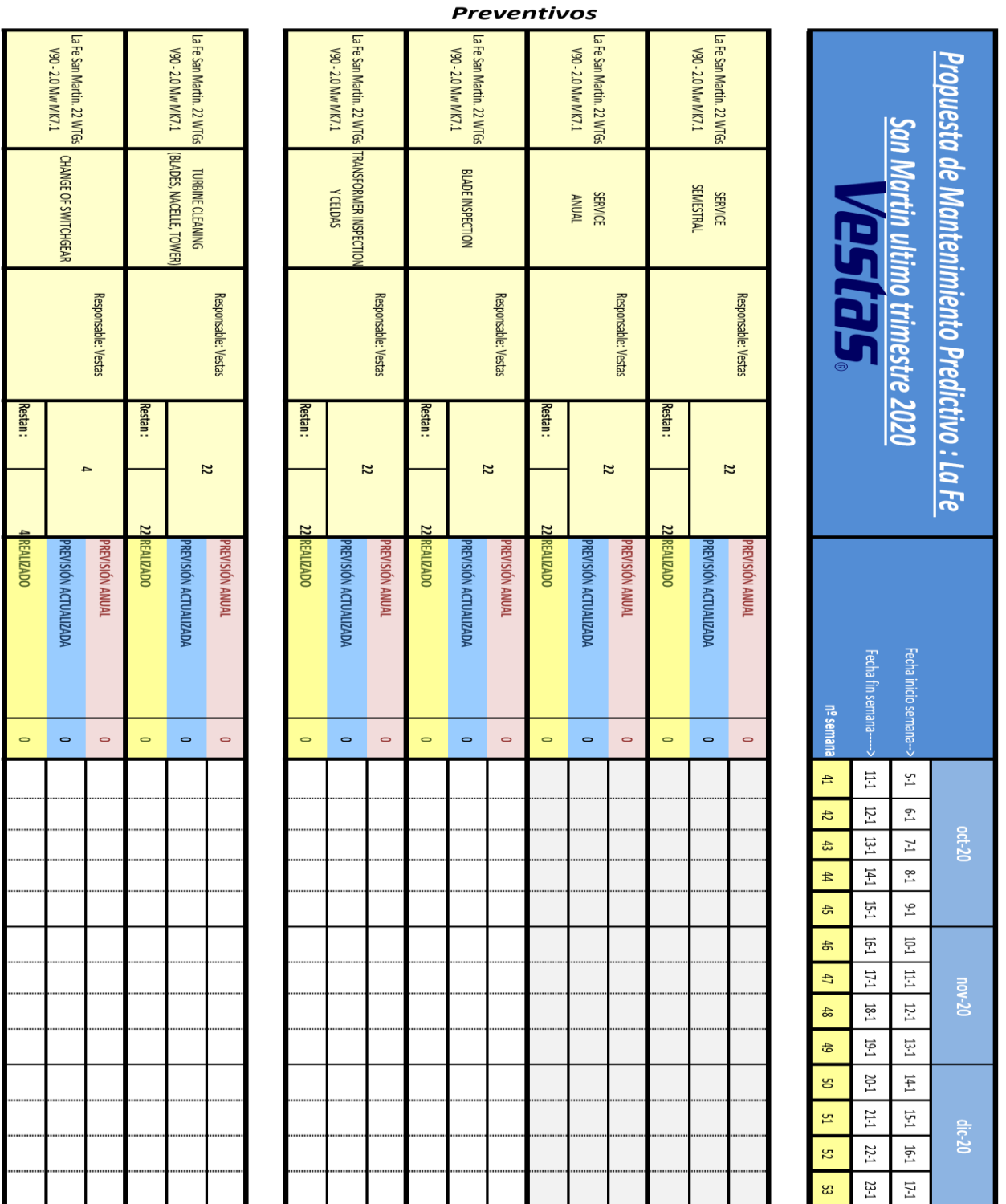


Figura. 28 Propuesta de Planificación de Matto. Predictivo

“Implementación de plan de mantenimiento predictivo utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras”

SET		CIM		Revisiones anuales seguridad	
Subestación	Mantenimiento de Subestación	Responsable: Blue Power & Energy	1	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 1	PREVISION ACTUALIZADA	0
CIM2178	Gearbox endoscope inspection PEA	Responsable: Vestas	22	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 22	PREVISION ACTUALIZADA	0
CIM3177	Removal of ladder to concrete gu	Responsable: Vestas	22	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 22	PREVISION ACTUALIZADA	0
CIM3620	Re-route cabling to T50 Transfor	Responsable: Vestas	22	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 22	PREVISION ACTUALIZADA	0
CIM3894	Measure corrosivity	Responsable: Vestas	22	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 22	PREVISION ACTUALIZADA	0
La Fe San Martín, 22 WTGS V90 - 2.0 Mw MK7.1	REVISION EXTINTORES	Responsable: Vestas	22	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 22	PREVISION ACTUALIZADA	0
La Fe San Martín, 22 WTGS V90 - 2.0 Mw MK7.1	LADDER INSPECTION	Responsable: Vestas	22	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 22	PREVISION ACTUALIZADA	0
La Fe San Martín, 22 WTGS V90 - 2.0 Mw MK7.1	SERVICE LIFT INSPECTION	Responsable: Vestas	22	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 22	PREVISION ACTUALIZADA	0
La Fe San Martín, 22 WTGS V90 - 2.0 Mw MK7.1	INSPECCION EPP TECNICOS VESTAS	Responsable: Vestas	1	PREVISION ANUAL	0
			Restan: 1	PREVISION ACTUALIZADA	0

Figura. 29 Propuesta de planificación de Matto. Predictivo

Conclusiones

El presente estudio, nos permitió conocer los principales elementos que conforma la tecnología de ultrasonido propagado en el aire y estructuras, las diferentes aplicaciones, aspectos técnicos, ventajas y optimización de recursos que conllevará la adopción de esta nueva tecnología.

Se cumplió con cada uno de los objetivos específicos el cual se abordaron en los 5 capítulos descritos: La descripción de los principales elementos y aplicaciones de la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras, Los métodos básicos del ultrasonido, efectividad del Ultrasonido en la antelación de fallas en Aerogeneradores, beneficios en el sistema de Monitoreo de los Aerogeneradores en la detección de fallas y en Pro del Mantenimiento Preventivo Eficiente, así como los beneficios en el sistema de Monitoreo de los Aerogeneradores en la detección de fallas y en Pro del Mantenimiento Preventivo Eficiente y la optimización de recursos logísticos y fortalecimiento del protocolo de mantenimiento predictivo en Aerogeneradores.

De igual manera se alcanzó el objetivo principal, la realización de un plan de mantenimiento predictivo, utilizando la tecnología de ultrasonido propagado en aire y estructuras para la antelación de posibles fallas potencialmente peligrosas, en VESTAS Nicaragua, que sin lugar a duda, causará un impacto positivo, en los protocolos actuales de mantenimiento predictivo.

El plan de mantenimiento predictivo, se someterá a aprobación para fortalecer el protocolo de mantenimiento actual, en la compañía, se determinó que la técnica de ultrasonido juega un papel primordial para un procedimiento de mantenimiento eficiente. Permite la detección de problemas potenciales en una etapa temprana. Esta información se puede utilizar para programar las tareas de mantenimiento o reparaciones antes de que el problema se intensifique, permite mejorar la disponibilidad de la máquina y reducirá los costos de mantenimiento. También ayuda a desplegar los equipos humanos de servicio y mantenimiento a los aerogeneradores que realmente lo necesitan de manera anticipada, se determinó la efectividad en análisis de fallas de los rodamientos y estructuras rotativas.

Recomendaciones

- 1) Recomendamos la evaluación de la viabilidad técnica y económica de la integración de la tecnología de ultrasonido propagado en el aire y estructuras en otros equipos de la empresa que permita anticipar interrupciones o fallas críticas en los diferentes procesos, con el objetivo de optimizar recursos, fortaleciendo los esquemas o protocolos de Mantenimiento Predictivo del departamento de mantenimiento e ingeniería.
- 2) Recomendamos la realización de un análisis de inversión para evaluar los costos al adquirir los equipos de ultrasonido Ultra probé 10000. Así como capacitación continua Como herramientas de trabajo, de los especialistas, e instrumentistas de los diferentes departamentos del área de mantenimiento e ingeniería.
- 3) Establecer una tabla comparativa de los históricos de bitácoras donde se determine las (Principales fallas) de los aerogeneradores, en el cual se analice el ritmo de diagnóstico de problemas en los aerogeneradores a partir de la implementación de la tecnología de ultrasonido, con el objetivo de ahorrar costos y extender la vida útil de los equipos y componentes, establecidos en el protocolo de mantenimiento predictivo

Referencias Bibliográficas

- [1] C. Garza, J. Watts, “Ultrasonido Acústico CAT I ISO 18436-8:2013(E)” Rev. 1/2017-ES
- [2] J. E. Rivera. A. Palacios, “Implementación de programa mantenimiento predictivo mediante la técnica de ultrasonido en la cooperativa gerencia de mantenimiento Colanta Ltda.” Universidad de Antioquia 2008.
- [3] C. G. Morataya, T. "Propuesta de Creación del Departamento de Confiabilidad y Plan de Mantenimiento Predictivo para Equipos Críticos en el Ingenio Santa Ana" Ing. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Septiembre 2015.
- [4] M. C. MARIO. A, V. VEGA.LUIS " Determinación de pérdidas por fugas en tuberías de aire comprimido mediante la técnica de ultrasonido pasivo en el laboratorio de mantenimiento predictivo de la facultad de mecánica", Escuela Superior politécnica de Chimborazo, Ecuador 2015.
- [5] Acciona Business as Unusual 2020 [En Línea] disponible en: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/> Accedido: [04-sep-2020]
- [6] G. L. BYRON, Q. S.ROBERTO “Comparación de la Efectividad de las Técnicas de ultrasonido pasivo y análisis de vibraciones en la detección de fallas incipientes en rodamientos” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riomba-Ecuador 2015.

- [7] J. Maldonado, O. Álvarez, "Revisión de Métodos y Conceptos del Monitoreo Por Condición en Aerogeneradores" ResearchGate Julio 2019
- [8] Central América Data.com Información de Negocios 2020 [En Línea] Disponible en: <https://www.centralamericadata.com/es/> Accedido: [07-sep-2020].
- [9] F. Fraguela Díaz, "Investigación sobre variables predictivas del mantenimiento de parques eólicos" tesis doctoral, universidad de Coruña 2018.
- [10] E. B. Pol Godoy, "IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN Y LUBRICACIÓN DE RODAMIENTOS EMPLEANDO ULTRASONIDO EN EQUIPOS CRÍTICOS DEL INGENIO SANTA ANA" Ing. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Marzo 2020.
- [11] Hernández Sampieri Roberto, Fernández-Collado Carlos and Baptista Lucio Pila, "Metodología de la Investigación", Sexta edición.

Anexos

Glosario

- (1) Góndola: Es la parte que contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico.
- (2) Cojinetes: Elemento en el cual se apoya y gira un eje, de poco rozamiento y gran resistencia mecánica.
- (3) Línea base: La lectura con menor cantidad de decibeles.
- (4) Rodamientos Hidrostáticos: Son rodamientos que funcionan con un fluido bombeado bajo presión.
- (5) R.P.M: Revoluciones por minuto
- (6) Torre: Es la base que soporta la góndola y el rotor.

CERTIFICACIÓN AIRBORNE ULTRASOUND LEVEL 1



