



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

Ingeniería Eléctrico – Mecánica

“Estudio para la implementación del tema ‘análisis de vibraciones en motores eléctricos’ en la materia de máquinas II de la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO

Presentada por:

XAVIER ALEXANDER VELARDE MERO

Dirigido por:

ING. JAIME LUCAS LAYANA CHANCAY

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

Ingeniería Eléctrico – Mecánica

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Xavier Alexander Velarde Mero, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico - Mecánico.

TUTOR

Ing. Jaime Lucas Layana Chancay

REVISOR(ES)

Ing. Luis Vallejo Samaniego. Msc.

Ing. Raúl Montenegro Tejada.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Miguel Armando Heras Sanchez

Guayaquil, a los 5 días del mes de mayo del año 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

Ingeniería Eléctrico – Mecánica

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Xavier Alexander Velarde Mero

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “Estudio para la implementación del tema ‘análisis de vibraciones en motores eléctricos’ en la materia de máquinas II de la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica” previa a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico – Mecánico, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 5 días del mes de mayo del año 2014

EL AUTOR

Xavier Alexander Velarde Mero



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

Ingeniería Eléctrico – Mecánica

AUTORIZACIÓN

Yo, Xavier Alexander Velarde Mero

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “Estudio para la implementación del tema ‘análisis de vibraciones en motores eléctricos’ en la materia de máquinas II de la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 5 días del mes de mayo del año 2014

EL AUTOR:

Xavier Alexander Velarde Mero

AGRADECIMIENTO

Al que le debemos todos los días de vida y cada uno de los momentos, ya sean malos o buenos debemos de agradecer por poder ser parte de un mundo que no merecemos, A Dios gracias por todo lo que nos ofrece día a día.

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por darnos un segundo hogar y empaparnos de conocimiento y valores para seguir nuestro camino al éxito, a los docentes y personal administrativo por hacer que su trabajo nos beneficie directamente y darnos una propuesta a futuro de altas expectativas.

A el Ing. Jaime Layana Chancay, por haberme ayudado en la tutoría de este proyecto de tesis y que consecuentemente pueda obtener mi título.

A mi familia, que siempre estuvo apoyándome y dándome la oportunidad que no todos tienen de ser un profesional y de sobresalir. El sacrificio y el tiempo que se toman educándonos se remuneran con orgullo y satisfacción. Y a la compañía y apoyo incondicional de mi novia, que ha estado de pie a mi lado en toda situación.

Gratitud eterna a todas las personas y entidades que han estado y que sin duda estarán presentes el resto de nuestras vidas.

Xavier Alexander Velarde Mero.

DEDICATORIA

El proyecto de tesis que se presenta está dedicado a todas las personas que de una u otra forma me han guiado en mi camino, a los que me han apoyado y a los que me han corregido cuando he estado mal.

Esto es un logro individual, pero que es alcanzado gracias al apoyo de muchas personas. Esto va por ellos.

Xavier Alexander Velarde Mero

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE GRÁFICOS _____	IX
ÍNDICE DE TABLAS _____	IX
RESUMEN _____	X
ABSTRACT _____	XI
1. CAPÍTULO I – El Problema	
1.1. Introducción _____	1
1.2. Planteamiento del problema _____	1
1.3. Formulación del problema _____	3
1.4. Interrogantes de la investigación _____	3
1.5. Delimitación del problema _____	4
1.6. Objetivos de la investigación _____	4
1.6.1. General _____	4
1.6.2. Específicos _____	4
1.7. Justificación _____	5
1.8. Factibilidad _____	6
2. CAPÍTULO II – Marco Teórico	
2.1. Vibraciones: Fundamentos y Antecedentes _____	7
2.2. Concepto de vibración _____	10
2.3. Movimiento periódico _____	13
2.4. Vibración libre _____	14
2.5. Vibración torsional _____	14
2.6. Movimiento pendular _____	14
2.7. Movimiento armónico simple _____	15
2.8. Formulación _____	16
2.9. Análisis de señales _____	17
2.10. Onda _____	17
2.10.1. Clasificación de las ondas _____	18
2.10.2. Fenómenos ondulatorios _____	19
2.11. Series de Fourier _____	20
2.12. Transformada de Fourier _____	21
2.13. Vibraciones en motores eléctricos _____	24
2.13.1. Vibraciones producidas por fallas electromagnéticas _____	24
2.13.2. Vibraciones producidas por rotura de barras en el rotor _____	25
2.13.3. Vibraciones producidas por partes flojas _____	26
2.13.4. Vibraciones producidas por cojinetes _____	26
2.13.5. Vibraciones producidas por falta de excentricidad _____	27
2.13.6. Vibraciones producidas por desbalances _____	27
2.13.7. Vibraciones producidas por falta de alineamiento _____	29
2.14. Unidades de medida de las vibraciones _____	30
2.15. Normativa de vibraciones mecánicas _____	33
2.15.1. Carta de Rathbone _____	33
2.15.2. ISO 2372 _____	35

2.15.3. ISO 3945	37
2.15.4. ISO 10816	38
2.16. Instrumentación	40
2.16.1. Desplazamiento	41
2.16.2. Velocidad	42
2.16.3. Aceleración	43
2.17. Análisis de vibraciones	44
3. CAPÍTULO III – Metodología	
3.1. Sistema de hipótesis y variables	49
3.2. Diseño de estudio	50
3.3. Población	50
3.4. Técnicas e instrumentos	50
3.5. Procedimiento	51
3.6. Análisis de impacto	54
4. CAPÍTULO IV – Propuesta	
4.1. Objetivo particular de la propuesta	55
4.2. Fundamentación	55
4.3. Ubicación sectorial y física	56
4.4. Plan de ejecución	56
4.4.1. Recursos	59
4.4.2. Evaluación	59
4.4.3. Análisis FODA	61
4.4.4. Resultados	62
4.5. Syllabus a implementar	63
5. CAPÍTULO V – Conclusiones y Recomendaciones	
5.1. Conclusiones	64
5.2. Recomendaciones	65
BLIBIOGRAFÍA	67
GLOSARIO DE TÉRMINOS	69
ANEXOS 1	73
ANEXOS 2	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. – Busto de Pitágoras_____	7
Figura 2. – Galileo Galilei_____	8
Figura 3. – Isaac Newton_____	8
Figura 4. – Daniel Bernoulli_____	9
Figura 5. – Joseph Fourier_____	9
Figura 6. – Secuencia de resolución de problemas por transformada de Fourier_____	23
Figura 7. – Espectro de la transformada de Fourier_____	23
Figura 8. – Sentido de las vibraciones_____	29
Figura 9. – Gráfica de la velocidad de una masa que vibra_____	31
Figura 10. – Gráfica de la aceleración de una masa que vibra_____	31
Figura 11. – Carta de Rathbone_____	34
Figura 12. – Transductor de desplazamiento de contacto_____	41
Figura 13. – Transductor de desplazamiento sin contacto_____	42
Figura 14. – Transductor de velocidad_____	43
Figura 15. – Transductor de aceleración_____	44
Figura 16. – Espectro de falla electromagnética_____	45
Figura 17. – Espectro de fallo por excentricidad_____	47
Figura 18. – Espectro de falla por falta de alineamiento angular_____	48
Figura 19. – Realización de planeación académica_____	57
Figura 20. – Diagrama de flujo de aprobación de programación académica_____	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. – Unidades de medición de vibraciones_____	32
Tabla No. 2. – Tabla de severidad de la norma ISO 2372_____	36
Tabla No. 3. – Tabla de severidad ISO 3945_____	37
Tabla No. 4. – Tabla de severidad según norma ISO 10816_____	39
Tabla No. 5. – Unidad 4 de vibraciones en motores eléctricos_____	53

RESUMEN

El proyecto de tesis propuesto implica un estudio para la puesta en funcionamiento de un syllabus recomendado que incluye un tema adicional a tratar en el periodo académico, que se relaciona con las fallas que se producen a los motores eléctricos y se diagnostican haciendo uso de instrumentos y software de análisis de vibraciones y espectros de frecuencias para diferentes factores, apoyados en normativas y estándares internacionales, titulando así a la unidad 4: 'Análisis de vibraciones en motores eléctricos' a conformar el capítulo final de la materia Máquinas II de la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica que consta además con un proyecto por tutorías apoyado en el esquema actual o modelo académico. Los datos obtenidos y la propuesta que se realizó, tuvo un consenso por parte del docente de la materia de Máquinas II habiendo verificado todos los aspectos que se ven inmersos en su área y contemplando un análisis interno y externo de sus variables.

Palabras clave: Syllabus, motores eléctricos, instrumentación, análisis, vibración, espectro, frecuencia, normas, máquinas II.

ABSTRACT

The thesis project proposed involves a study to implant a recommended syllabus that includes an additional topic to treating in the academic period, that it relates to the faults that take place to the electrical engines and are diagnosed using instruments and software of analysis of vibrations and spectral frequencies for different factors rested on regulations and international standards, titling this unit 4: ' Analysis of vibrations in electrical engines ' being the final chapter of the Electrical Machines II subjects in the Electrical – Mechanics Engineering career further comprising a project supported by tutorials in the current schema or academic model. The data obtained and the proposal project had a consensus by the teacher of the area of Machines II having verified all aspects that are involved in your area and contemplating an internal and external analysis of its variables.

Key words: Syllabus, electrical engine, instruments, analysis, vibrations, spectral, frequencies, regulations, Electrical Machines II.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Introducción

El proyecto de tesis que se presenta, se realizó de forma investigativa y con una propuesta directa apuntando al futuro desempeño y peso académico del perfil profesional de la carrera de ingeniería en eléctrico – mecánica.

Determina una propuesta educativa de calidad para adición al syllabus de la actual materia de máquinas II. Se desarrollará con bases teóricas y conceptuales, sin embargo se toma en cuenta el aspecto práctico que es vital en esta profesión, para esto último se planteará y propondrá como recomendación referencial la implementación de un laboratorio de análisis de vibraciones.

Los conceptos y teorías utilizadas serán el punto de partida para la consecución del proyecto que indicará muchos valores fundamentales para los diferentes tipos de mantenimiento industrial y de planta.

1.2. Planteamiento del problema

En el ámbito laboral los profesionales deben destacar por su conocimiento y habilidades dentro del campo de trabajo, según su carrera puede ser práctico, analítico o de otra índole. Esto sugiere que cada profesional debe abarcar el contenido de su ciencia en el desempeño o función dentro de la empresa, por lo

que se ve como una deficiencia la falta de capacitación o desarrollo de un trabajo por insuficiencia de conocimientos.

En el nivel industrial y de planta en el que se desenvuelve la ingeniería, el profesional debe estar al tanto de la preservación y conservación del equipo y maquinaria que se use en la empresa, y en lo cual la falta de conocimiento sobre los distintos tipos de vibración que presenta alguna máquina o motor pueda crear una falla de cualquier índole puede ser vital para su continuidad en el trabajo y para la producción de la industria. Realmente es un problema no tener la seguridad de hacer un trabajo con el conocimiento adecuado para realizarlo.

La carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica enfoca muchas ciencias y subciencias dentro de las cuales el futuro ingeniero debe manejar y perfeccionar lo aprendido en la universidad. Es fundamental por tal enunciado que las materias dictadas en una facultad universitaria contengan en lo posible el 100% de lo que en el mañana el profesional necesite aplicar.

Dentro del pensum académico de la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se engloba en su mayoría lo indispensable para el ejercicio técnico, pero siempre se puede mejorar y dentro de lo que puede añadirse al perfil profesional sería el entendimiento acerca del “análisis de vibraciones en motores eléctricos”.

El problema se define dentro del aspecto estudiantil y enmarca una necesidad de competencia universitaria y laboral, por lo que el contexto de este estudio tendrá como ubicación la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, específicamente la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo.

La realidad circundante muestra claramente un vacío sobre el área de este tema, referente al análisis de vibraciones en motores eléctricos y todo lo que implica el conocimiento de este fenómeno que afecta directamente a varios aspectos dentro de una fábrica o industria.

Por lo que se plantea realizar un estudio para la implementación de un nuevo syllabus que proyecte la teoría y la práctica que concierne al análisis de vibraciones en motores eléctricos. Mediante un análisis minucioso y exhaustivo de sus componentes que logre llenar las expectativas competitivas del pensum universitario y del área profesional, tanto como las de la propia universidad. Para de esta forma obtener un amplio perfil académico, profesional y vocacional, además de tener un desempeño óptimo a nivel industrial.

1.3. Formulación del Problema

¿De qué forma se puede contribuir al mejoramiento de la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil?

1.4. Interrogantes de la investigación

¿Qué tan importante es el análisis de vibraciones dentro de la industria?

¿Cómo afectan las vibraciones a los motores, infraestructura, etc.?

¿El nivel de acreditación de la universidad se verá reflejado con esta propuesta?

¿El conocimiento del tema ‘Análisis de vibraciones en motores eléctricos consta como un pilar fundamental para la ingeniería eléctrico-mecánica?

1.5. Delimitación del problema

Este proyecto de investigación toma en cuenta los distintos tipos de vibraciones, sus fallas correspondientes en distintos tipos de motores eléctricos y la forma de analizarlos mediante equipos e instrumentos, muy específicamente propone una materia teórico dentro de estos aspectos.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. General

Se busca con este proyecto poder implementar un syllabus previamente analizado y aprobado por el docente de la materia que contenga un equilibrio en su contenido tanto como una proporción adecuada de su carga horaria y proponer el desarrollo del mismo en la universidad para la facultad y sus estudiantes. Mediante investigación de conceptos precisos y claros que planteen un aprendizaje teórico y práctico adecuado para el perfil profesional. Para que los futuros Ingenieros Eléctrico – mecánicos y la misma Universidad Católica de Santiago de Guayaquil obtengan beneficios intelectuales en su profesión y acreditación respectivamente.

1.6.2. Específicos

- Reconocer los tipos de falla que se presenten en los motores eléctricos mediante un buen análisis de vibraciones.
- Aplicar diferentes tipos de mantenimientos correspondientes según diagnósticos de vibración.
- Sugerir la implementación de laboratorio de prácticas con equipo de calidad.

- Promover el desarrollo de la facultad y el apoyo a su acreditación universitaria.
- Obtener un impacto tecnológico y social favorable por parte de la universidad y sus estudiantes.
- Realizar un estudio individual con ayuda del análisis del docente del área correspondiente para definir las ventajas, desventajas, opiniones y criterios que puedan tener relación directa con la propuesta.
- Realizar encuesta al docente encargado de la materia con el fin de categorizar y pulir la propuesta para su segura aprobación y ejecución.

1.7. Justificación

El estudiante de una carrera práctica que se desarrolla en plantas e industrias, en las cuales la mayoría producen o entregan sus servicios mediante maquinaria, se ve obligado a justificar lo aprendido en el estudio de su carrera. En la variedad de máquinas el tipo mecanismo variará, pero su funcionamiento e imperfecciones provocarán vibración. Cada tipo de vibración se puede analizar y con esto describir si el equipo tiene algún problema o le hace falta algún tipo de mantenimiento. Se trata de darle confiabilidad y prolongar la vida útil de las herramientas y así maximizar la calidad de la producción.

Esta premisa se refiere a que el análisis de vibración es una práctica importante dentro de la industria, lo cual inspira proponer una implementación de esta ciencia derivada del principio de conservación y su intervención en la materia que guarda mayor relación.

Se aspira motivar al establecimiento a incorporar este proyecto para beneficio y progreso tanto de estudiantes, como de la Universidad, generando un valor

adicional a el saber de esta rama fundamental y que siga preparando profesionales cada vez de mejor calidad.

1.8. Factibilidad

La investigación es factible porque en la elaboración de la propuesta existe un modelo operativo viable que brinda una posible solución a la falta de esta asignatura o tema en la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica.

Además se presenta un syllabus que sugiere complementar la teoría investigada para mejorar la calidad de enseñanza y el entendimiento de la ciencia en el campo físico.

Este tema por ser una proposición novedosa y de implementación para la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, dispone de un rango alcance dependiente de varios factores legales dentro de la institución por motivos de reforma a la malla curricular y adicionales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Vibraciones: Fundamentos y Antecedentes

Los antecedentes del estudio de las vibraciones se remontan a la época de la antigua Grecia donde Pitágoras(570 – 470 a.C.) encontró la relación existente entre la longitud y su frecuencia de vibración, luego de realizar un experimento con varias agujas del mismo espesor pero diferente longitud, calculando pudo concluir que la música no era más que una relación matemática de las vibraciones medidas dependientes de sus intervalos. (Diaz del Castillo, 2011)

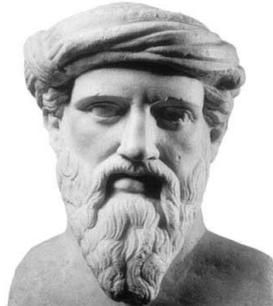


Fig. 1 - Busto de Pitágoras.

(Fuente: <http://www.biografiasyvidas.com/>)

El estudio realizado por Galileo Galilei(1564 – 1642) indica claramente la estrechez entre el sonido y las vibraciones mecánicas y sugirió además la relación entre la tensión, longitud y frecuencia de vibraciones de las cuerdas. Mediante un experimento que consistía en medir el tiempo de cada oscilación de un candelabro de la catedral de Pisa y comparándolas con los latidos de su pulso. Luego realizó el mismo experimento con un péndulo, comprobando que el tiempo de cada oscilación dependía de la longitud de la cuerda del péndulo. (Diaz del Castillo, 2011)

Es un precursor de hechos científicos y experimentos que lograron descifrar varios aspectos de este fenómeno.

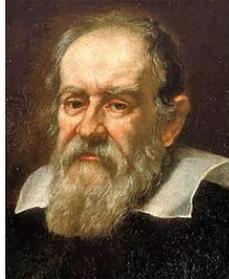


Fig. 2 – Galileo Galilei.

(Fuente: <http://weib.caib.es/>)

Isaac Newton también tuvo repercusión directa con el origen de este campo de la ciencia, el uso de las leyes de Newton es fundamental en el análisis de sistemas y determinación de frecuencias de oscilación. Según Robert Hooke este estudio fue un plagio a la idea central de su libro y esto creó polémica en esas épocas. (Diaz del Castillo, 2011)

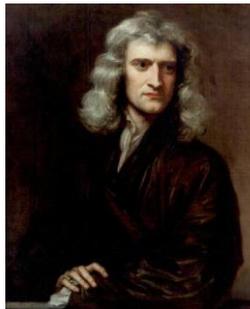


Fig. 3 – Isaac Newton.

(Fuente: <http://www.brighthub.com/>)

Luego de un tiempo Daniel Bernouilli (1700 – 1782), tuvo un claro concepto en base a sus estudios sobre la forma de vibrar de algunos cuerpos usando el principio de superposición de armónicos. Sus experimentos dieron bases claras y consisas para el desarrollo de diagnósticos previos, ideas que proponían un avance y que dieron paso a posteriores propuestas. (Diaz del Castillo, 2011)

Luego de las visiones experimentales para determinar los distintos tipos de vibraciones por medio de armónicos según Daniel, el diagnóstico de la vibración de los cuerpos determinaría un comportamiento diferente al normal o al de su trabajo en condiciones normales.



Fig. 4 – Daniel Bernoulli.

(Fuente: <http://dannyaioichanccf.wordpress.com/>)

Una de las propuestas mas interesantes e importantes en este área la realizó el matemático francés Joseph Fourier(1768 – 1830), en base al algoritmo que fue creado por Fourier se enfoca el funcionamiento y determinación de trabajo de los analizadores de vibraciones actuales. Es una aportación realmente importante y se obtuvo de su análisis de funciones que derivaban de senos y cosenos que relacionaban finalmente con el estudio matemático de la conducción de calor, el artículo fue nombrado análisis de Fourier en honor a él. (Diaz del Castillo, 2011)



Fig. 5 – Joseph Fourier.

(Fuente: <http://www.uh.edu/>)

Luego de esto se han dedicado al estudio y análisis de la reducción de vibraciones mecánicas, los avances tecnológicos han jugado un papel importantísimo dentro de esta labor y en consecuencia la resolución de problemas ha sido simplificada.

2.2. Concepto de vibración

Los conceptos actuales de vibración se ligan directamente a los cambios que sufren las frecuencias y las masas finitas que las crean, se puede decir que se trata de un cambio de energía cinética en base del tiempo que puede ser producido por varias razones y determinado por sus oscilaciones sincrónicas en relación a su equilibrio posicional, negando un posible cambio de lugar del campo. Son cambios alternativos que se experimentan cuando el cuerpo vibra y deben de reducirse por razones de optimización y calidad de trabajo a realizar.

Entre los motivos mas destacados de vibración mecánica se encuentra al desequilibrio de máquinas rotatorias, circulación de fluidos o masas inestables, energía electromagnética, etc.

Relacionado a esto se presentan distintos tipos de daños en maquinaria, rodamientos y acoplamientos, aumenta considerablemente el consumo de energía por que generan cargas mayores y vibraciones que no estan dentro de los parámetros normales de trabajo, es por esto que la medición de este fenómeno que afecta directamente a la mantenibilidad de la maquinaria es vital dentro de la empresa y dentro del conocimiento del ingeniero actual, hay que tener la capacitación adecuada para utilizar los transductores y saber el funcionamiento de la interfaz y equipos para medición.

Los puntos de mayor importancia en los programas de mantenimiento predictivo el cual permite tener un diagnóstico actual y previo a futura falla del proceso realizado por la maquinaria y la calidad de sus componentes.

Es una metodología necesaria y esencial en el perfil del estudiante de ingeniería. La capacidad de analizar y solucionar problemas de procesos industriales está en la capacidad de poder preverlos mediante el entendimiento de este campo del análisis de vibraciones.

Estos métodos actuales se ligan al desarrollo tecnológico y electrónico, directamente con los PLC's, software y analizadores los cuales dan una mejor experiencia y facilidad del proceso, desde la recolección de datos hasta tu conclusión y diagnóstico. Todo el campo de investigación estrecho al tema se toma en cuenta para la constante actualización de estos dispositivos, equipos, herramientas y transductores.

El estudio de la causa-efecto de este dominio en afinidad con los factores externos como la salud, contaminación, sociedad, etc. Determinan de forma adicional la posibilidad de afectar muy aparte de la maquinaria, si no también física y psicológicamente al ser humano y su entorno, por ejemplo los ruidos que se crean por las vibraciones mecánicas tienen incidencia directa con la salud del ser humano que tenga cercanía a la maquinaria en tratamiento.

Los procesos industriales es un punto importante y de consideración debido a que su funcionamiento se basa en métodos y procedimientos para el mantenimiento, haciendo enfoque en el tipo predictivo ya que mediante el mismo se puede elaborar un estudio actual y el posible estado futuro de los elementos y partes de una máquina, en este caso específico en los motores eléctricos que crean una vibración mecánica también que se puede analizar.

La actualización y mejora de los procesos industriales con dispositivos automatizados de control y medición, sensores electrónicos y nuevas metodologías no han afectado el origen del fenómeno de la vibración mecánica y de esta forma se han obtenido diferentes conclusiones y una derivación de los campos ya conocidos.

La simulación mediante software para resolver problemas creados en laboratorio y tener planes de contingencia listos y actualizados, el análisis mediante programas y equipos de medición, estos equipos de medición con el tiempo han cambiado externamente puesto que su funcionamiento sigue siendo sobre los mismos principios físicos. Y por último los métodos de análisis que constantemente son utilizados se originaron en cálculo y matemática demostrando que las variables afectan mucho los resultados finales de las vibraciones.

Los efectos de las vibraciones mecánicas y su impacto tiene un alcance económico al no resolver un problema derivado de este campo se crea un gasto adicional en mantenimiento correctivo por daños o averías en las herramientas o elementos de trabajo y adicional a esto el proceso industrial se ve afectado en su producción interrumpida.

En el ámbito social engloba las diferentes problemas que pueden ser causados por las vibraciones, los cuales consecuentemente afectan directamente las relaciones entre personal operativo y gerencial, aparte del daño que ocasiona en la maquinaria puede llegar a deterioros graves en la infraestructura industrial o de planta.

En el aspecto físico juega un papel importante la salud del personal por efecto de la vibración y la frecuencia a la que está vulnerable, el ruido también es un factor de preocupación, por motivos ambientales y perjuicios al oído humano.

Los distintos tipos de movimientos y vibraciones se describen a continuación detallados y con sus respectivas características:

2.3. Movimiento periódico

Un movimiento periódico se crea cuando un cuerpo o partícula repite un movimiento con las mismas características en iguales intervalos. Algunos ejemplos de este tipo de movimiento son los columpios, el péndulo del reloj, una polea acoplada a un motor, etc. Las características principales son:

- La frecuencia – Es el número de ciclos u oscilantes que el objeto o masa realiza en la unidad del tiempo.
- El período – Tiempo en el que se realiza el ciclo completo.
- La elongación – Relación de la posición de reposo o equilibrio hasta un punto distante.
- La amplitud – Máxima elongación.
- La fase – Ángulo formado entre la posición inicial de reposo hasta el punto distante de análisis.

Se divide entre el movimiento pendular que es la oscilación lenta de la masa en ciclos repetidos a distancias equitativas de su punto de equilibrio. Y el movimiento armónico simple, el cual se describe como un movimiento rápido desde un punto de lado a lado desde su posición de reposo inicial. Se caracterizan por el principio de superposición de armónicos que indica la relación de su movimiento en los diferentes tipos de oscilaciones.

2.4. Vibración libre

Un cuerpo está en vibración libre cuando deja de estar en reposo y comienza a vibrar sin la aplicación de fuerzas externas que produzcan movimientos adicionales en las partículas o masa.

Según la ley de Hooke la fuerza que ejerce el resorte sobre el cuerpo directamente proporcional al producto constante elástica y la diferencia entre la distancia actual e inicial del resorte, mientras que la fuerza que ejerce un cuerpo sobre el resorte es igual a su masa por la gravedad que lo afecta, o sea su peso. Si se relaciona estas fórmulas con la ley de Newton se obtendrá una ecuación que describe el movimiento en el eje de coordenadas "x". (Mejía Morales, 2009)

Esto es solo un ejemplo de lo que puede ser una aplicación puesto que cualquier sistema elástico posee una vibración libre por efecto de una fuerza inicial y dependen de su consistencia y volumen distribuido.

2.5. Vibración torsional

Este tipo de vibración ocurre cuando un conjunto de partículas en rigidez vibra en torno a su eje, la medición del mismo se determina calculando su movimiento angular.

2.6. Movimiento pendular

Es un movimiento lento que se desarrolla mediante una oscilación lateral desde su posición de equilibrio. Se rige a varias leyes físicas de estudio y análisis que

indican características especiales para este movimiento, indicandolas a continuación:

- El período de oscilación es autárquico con respecto al material del que este formado, adicionalmente no depende de la amplitud, con la excepción de su magnitud.
- Los movimientos oscilantes menores a 10° de fase, son isócronas, esto quiere decir que realizan su desplazamiento en el mismo tiempo.
- El período de su celeridad pendular es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud.
- Su etapa de oscilación es inversa a la raíz cuadrada de la magnitud de la gravedad.

2.7. Movimiento armónico simple

Acotando lo anteriormente explicado este desplazamiento se define como la proporcionalidad entre la aceleración producto de la masa en movimiento y la fuerza aplicada con respecto a la distancia recorrida y siempre con dirección hacia su centro.

Se asocia con términos como la oscilación sencilla, completa, el período, la frecuencia, punto de retorno, etc. Y tiene una elongación representada dependiente del tiempo que indica una función trigonométrica del tipo seno o coseno.

En este tipo de movimiento la velocidad de la partícula incrementa mientras más lejano se encuentra de su punto de retorno, llegando a su máximo valor cuando cruza por el reposo y nula cuando llega a su punto de retorno. En cambio la aceleración es inversa a esta propuesta, siendo máxima al en los

extremos del retorno y mínima al llegar a su punto de equilibrio. Sus fórmulas se describen de la siguiente forma:

2.8. Formulación

Para un péndulo simple, es decir, un modelo ideal en el cual la masa de la cuerda y el coeficiente de elasticidad se desprecian sería:

$$w = \sqrt{(g/L)} \quad [1]$$

Donde: [1]

w = Frecuencia angular.

g = Aceleración debida a la gravedad.

L = Longitud de la cuerda.

$$f = (1/2\pi)(\sqrt{(g/L)}) \quad [2]$$

f = Frecuencia.

$$T = 2\pi(\sqrt{(g/L)}) \quad [3]$$

T = Periodo.

Para un péndulo físico, es decir, cualquier péndulo real.

$$w = \sqrt{(mgd/I)} \quad [4]$$

Donde: [4]

w = Frecuencia angular.

m = Masa del objeto.

g = Aceleración debida a la gravedad.

d = Largo de la cuerda.

I = Momento de inercia al rededor del pivote.

$$f = (1/2\pi)(\sqrt{mgd/I}) [5]$$

f = Frecuencia.

$$T = 2\pi(\sqrt{mgd/I}) [6]$$

T = Periodo.

2.9. Análisis de señales

Los factores que juegan un papel importante en el análisis son el tiempo y la frecuencia, ya que en estos dominios se puede visualizar y estudiar las vibraciones mecánicas. Pueden ser mediante dispositivos electrónicos para el factor tiempo y mediante filtros para una señal de frecuencia.

Estas definiciones si bien son diferentes es por que guardan una relación inversa entre ellas, de forma que el periodo es igual a la unidad de tiempo sobre su frecuencia.

Evento ondulatorio:

Describe una circulación vibratoria, que es transmitida de forma repetida y progresiva, mediante las vibraciones que produce una masa finita que se propagan entre los diferentes puntos por sus fuerzas moleculares sin traslación del cuerpo que finalmente emite un estado de perturbación en cadena, es decir parte desde una partícula y afecta a las demás.

2.10. Onda

Consiste en la propagación física de una perturbación transportando energía por medio de la propiedad de alguna magnitud sin transportar la materia. “En

una onda, la energía de una vibración se va alejando de la fuente en forma de una perturbación que se propaga en el medio circundante” (Hall, 1980)

2.10.1. Clasificación de las ondas

Se clasifican dependiendo sus características:

- ❖ Medio de propagación
 - Mecánicas: Su desplazamiento depende de un medio elástico que vibre.
 - Electromagnéticas: Se propagan en el vacío.

- ❖ Número de oscilaciones
 - Pulso o perturbación: Mediante un impulso realiza una oscilación armónica simple y luego vuelve al reposo.
 - Onda periódica: Movimiento periódico producto de una constante fuente de vibración.

- ❖ Dirección de propagación
 - Ondas transversales: Partículas que vibran perpendicularmente con respecto a la onda propagada.
 - Ondas longitudinales: Partículas que vibran paralelamente con respecto a la onda propagada.

- ❖ Número de dimensiones en las que se propagan
 - Unidimensionales: una sola dimensión.
 - Bidimensionales: dos dimensiones.
 - Tridimensionales: tres dimensiones.

2.10.2. Fenómenos ondulatorios

Principio de Huygens

Todo punto de un medio a donde llega un movimiento ondulatorio de un centro primario principal, se convierte en nuevo centro de vibración dando lugar a una serie de ondas alrededor de si. (Ramos, 2010)

Principio de superposición

Cuando dos ondas se encuentran se combinan para tomar formas complejas, pero una vez que se han cruzado, retoman su forma inicial y siguen viajando a lo largo de su dirección de propagación. (Ramos, 2010)

Frente de onda

Cuando se tienen muchos centros emisores de ondas, las ondas generadas se mezclan de tal manera que las crestas parciales se entrecruzarán para formar una sola y los valles también se confundirán en uno solo, formando una sola onda que se considera la envolvente de todas, a esta envolvente que corresponde la tangente común de todas ellas se le denomina frente de onda. (Ramos, 2010)

Para analizar las vibraciones se necesita un método, el cual debido a la diversidad de frecuencias, no permite descifrarlo de una forma fácil y rápida, en todo caso deberá acudir a un análisis e inspección por medio del método matemático de la transformada de Fourier, quien creo estas series para determinar de una forma más exacta y más simple las señales de frecuencia correspondientes a las vibraciones existentes.

2.11. Series de Fourier

Históricamente surgieron al resolver un problema de ecuaciones en derivadas parciales por el método de separación de variables. Cuando estas fórmulas, inicialmente propuestas por Bernoulli (1753), muchos pensaron y analizaron la gran dificultad y casi imposibilidad de expresar una función $f(x)$ cualquiera como una adición de senos y cosenos. Entonces fue donde apareció el ingeniero, Joseph Fourier, el encargado de convencer a los escépticos de la veracidad de estos datos. (Universidad de Huelva, 2010)

Se llama serie de Fourier de una función $f(x)$ en el intervalo $[-\pi, \pi]$ a:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \operatorname{sen} nx) \quad (*)$$

A los coeficientes $a_0, a_1, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_n$ se les llama coeficientes de Fourier de $f(x)$ en $[-\pi, \pi]$.

Debido a que:

$$\int_{-\pi}^{\pi} \operatorname{sen} mx \operatorname{sen} nx \, dx = \begin{cases} 0 & \text{si } n \neq m \\ \neq 0 & \text{si } n = m \end{cases} \quad \int_{-\pi}^{\pi} \cos nx \, dx = 0 \quad \int_{-\pi}^{\pi} \operatorname{sen} nx \, dx = 0$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \cos mx \cos nx \, dx = \begin{cases} 0 & \text{si } n \neq m \\ \neq 0 & \text{si } n = m \end{cases} \quad \int_{-\pi}^{\pi} \operatorname{sen} mx \cos nx \, dx = 0$$

E integrando término a término en la igualdad (*) se obtiene:

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx \, dx = a_n \int_{-\pi}^{\pi} \cos^2 x \, dx = a_n \pi \Rightarrow a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx \, dx$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \, dx = \frac{a_0}{2} 2\pi \Rightarrow a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \, dx$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx \, dx = b_n \int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 x \, dx = b_n \pi \Rightarrow b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx \, dx$$

Las anteriores propiedades de las funciones $\sin nx$, $\cos mx$ se pueden resumir

en que el sistema $(f(x), g(x)) = \int_{-\pi}^{\pi} f(x)g(x) \, dx$

$$\{1, \sin x, \sin 2x, \dots, \cos x, \cos 2x \dots\}$$

Es un sistema ortogonal de funciones respecto del producto escalar $(f(x), g(x)) = \int_{-\pi}^{\pi} f(x)g(x)dx$ y la serie de Fourier no es mas que la expresión de un vector $f(x)$ como combinación lineal de los vectores de la anterior base ortogonal. (Universidad de Huelva, 2010)

2.12. Transformada de Fourier

Sea $f(t)$ una función localmente integrable cuya integral valor absoluto está acotada en \mathbb{R} : (Departamento de Matemática Aplicada y Estadística, 2010)

Se define su transformada de Fourier como:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} \, dt \quad [7]$$

Siendo la anti-transformada o transformada inversa:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{i\omega t} \, d\omega \quad [8]$$

Estas expresiones permiten calcular la expresión $F(\omega)$ (dominio de la frecuencia) a partir de $f(t)$ (dominio del tiempo) y viceversa. (Departamento de Matemática Aplicada y Estadística, 2010)

Notación: A la función $F(\omega)$ se le llama *Transformada de Fourier de $f(t)$* y se denota por F o \hat{f} , es decir.

$$F[f(t)] = F(\omega) = \hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad [9]$$

En forma similar, a la expresión que permite obtener $f(t)$ a partir de $F(\omega)$ se le llama *Transformada inversa de Fourier* y se denota por F^{-1} , es decir.

$$F^{-1}[F(\omega)] = f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad [10]$$

(Departamento de Matemática Aplicada y Estadística, 2010)

Transformadas integrales

$$F(\tau) = \int_a^b K(\tau, t)f(t)dt \quad [11]$$

- $K(\tau, t)$: núcleo o kernel.
- Asocia a cada función $f(t)$ en el espacio t , directo o real, otra función $F(\tau)$ en el espacio τ o recíproco.
- Ejemplos: de Fourier, Wavelet, transformada Z, de Laplace, de Hilbert, de Radon, etc. (Departamento de Matemática Aplicada y Estadística, 2010)

Además indica que si un problema es dificultoso de resolver en sus “coordenadas” originales, se facilitará con el uso de la transformada de espacio τ . Luego, si se usa la transformada inversa se obtendrá la solución del espacio original. (Departamento de Matemática Aplicada y Estadística, 2010)

En la figura a continuación se muestra un flujo de solución a la problemática común que se aplica a las señales de frecuencia por medio de la transformada de Fourier.

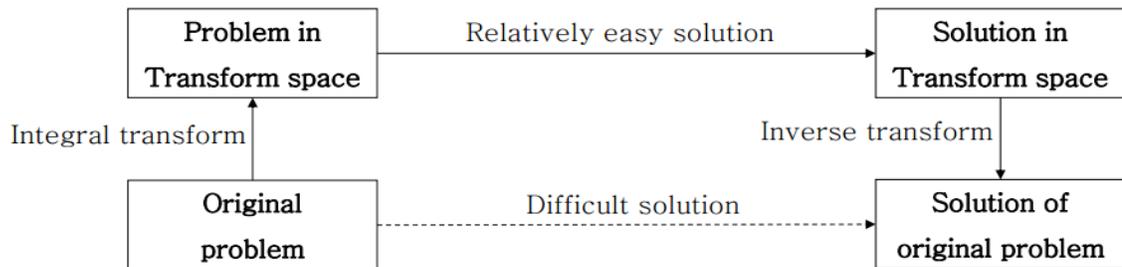


Fig. 6 – Secuencia de resolución de problemas por transformada de Fourier.

(Fuente: <http://matap.dmae.upm.es/>)

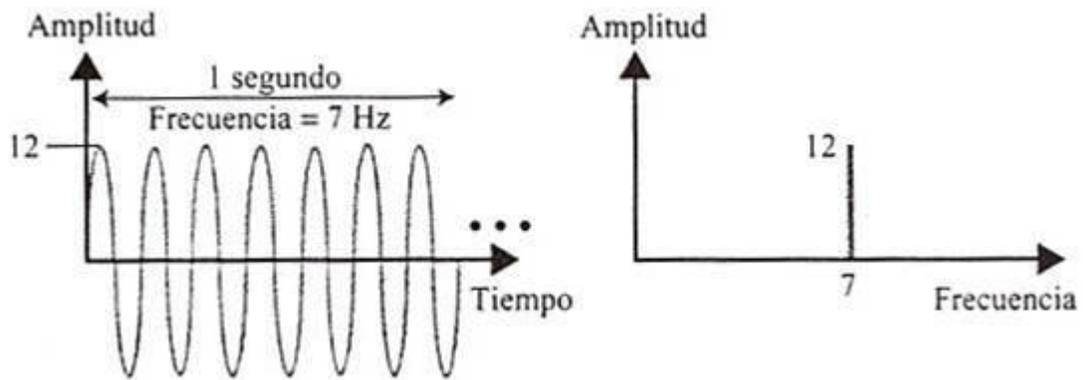


Fig. 7 – Espectro de la transformada de Fourier.

(Fuente: <http://matap.dmae.upm.es/>)

Estos espectros como se muestran en la Fig. 7 son convertidos y simplificados por medio de la transformada de Fourier y permiten verificar el comportamiento de la señal en el dominio de la frecuencia. Puede ser calculado de modo análogo o digital, en esta última hay beneficios de rapidez y poca probabilidad de error y es la que actualmente se utiliza luego de haber sido filtrada la señal.

2.13. Vibraciones en motores eléctricos

Un análisis a las vibraciones que suceden en un motor eléctrico trifásico dentro de un proceso industrial es referenciado a muchas características internas y externas, pero dentro de las importancias se toman en cuenta las tolerancias que tienen ciertos elementos y partes del motor, y en base a eso se puede determinar un cambio de componente que se encuentre con averías o dañado.

Las frecuencias y los métodos de análisis dan una pauta para encontrar los diferentes tipos de defectos por los que puede vibrar de forma anormal un motor eléctrico:

2.13.1. Vibraciones producidas por fallas electromagnéticas

Cuando el campo magnético de un motor eléctrico trifásico se altera producto de una barra rota, bobina rota, falla de corriente eléctrica ya sea por daño en algún conductor eléctrico o protecciones descuidadas o abiertas, suele ocurrir también por corto circuitos entre el núcleo y la bobina.

El comportamiento del campo magnético giratorio constante puede verse afectado por la falla de alguna corriente del bobinado, esto puede hacer que el campo se vuelva de magnitud variable y su par producido depende del campo giratorio, esto a su vez provocará una vibración anormal y constante en el motor.

Puede ocurrir también que un bobinado entre en corto circuito y de la misma forma el campo magnético se verá afectado y lo que realmente crea la vibración es el desbalance del par producido, de igual forma pasaría si se rompe la bobina.

En este tipo de falla hay que controlar la constante de la densidad del campo magnético ya que en condiciones normales funciona de esta manera, si esta densidad se ve afectada va a producir variación y esa falla produce el desbalance en el estator.

En el devanado del rotor, si se refiere a un motor de inducción de rotor bobinado, un corto circuito en esta parte provoca un incremento de la corriente y por consecuencia de su temperatura que a su vez terminarán alterando las piezas y elementos internos del motor, pudiendo así provocar vibraciones por el desbalance de fuerzas electromagnéticas debido a las deformaciones y volviéndose un bucle al crear estas más temperatura y más daños.

De forma distinta pero afectando al motor cuando el corto circuito ocurre en el devanado del estator, las espiras pueden hacer corto y disminuir de esta forma la rotación e incrementar su frecuencia de resbalamiento.

2.13.2. Vibraciones producidas por rotura de barras en el rotor

Los motores asíncronos con rotor tipo jaula de ardilla, contienen barras que conducen mediante sus extremos en corto circuito. Las chapas magnéticas que se encuentran aisladas entre sí en el núcleo magnético ocupan espacio entre las barras. Principalmente estas barras se rompen cuando la soldadura entre ambas, anillo y barras se daña por la cantidad de fuerza mecánica que se ejerce sobre este punto, principalmente en los movimientos más bruscos que son el arranque y el momento de frenado, el instante en que el material es afectado por la acción, ocurre la rotura, muy aparte de que el rotor puede sufrir torsiones y agrietamientos en los anillos debido al efecto térmico.

Es un proceso degenerativo en el cual la temperatura juega en contra al afectar directamente el material hasta su punto de ruptura, por efecto de esto pueden ocurrir arcos eléctricos sobre las barras adicionales y congestionando la corriente, de esta manera se sobrecargan ciertas barras creando un sistema cíclico que continuará hasta crear nuevas roturas y constante daño.

2.13.3. Vibraciones producida por partes flojas

El movimiento constante del motor eléctrico producto de sus vibraciones suele aflojar los pernos y montaje de la estructura y maquinaria, es algo normal y un efecto externo al que se le puede dar lectura rápidamente, siendo algo tan sencillo de igual forma crea señales de vibración anormales, incluso pueden producir desbalanceo y falta de alineamiento por constante vibración.

2.13.4. Vibraciones producida por cojinetes

Los cojinetes son piezas del motor específicamente van en la parte de la biela creada para evitar que el desgaste por fricción deteriore la pieza mayor y en este caso la de mayor prioridad, tiene aparte del deber de proteger, el de lubricar y refrigerar esas partes.

Las fuentes de vibración que se ven producidas por fallas en los cojinetes se relacionan con la excentricidad de las partes rotativas adjuntas al elemento, fallo en ajustes o defectos de fábrica de los cojinetes. También se analizan las oscilaciones vibratorias que se crean a base de autoexcitaciones del lubricante que circula por el canal del cojinete.

Suelen tener fallas por partes levantadas en las cuales interfieren partículas y pueden dañar el eje. La falta de lubricación puede desgastar de forma rápida el

cojinete y en este caso el tiempo de vida útil se reduce y no se pronostica de igual forma que con los otros. Fallas causadas por error en montajes de los cojinetes suelen ser comunes de esta forma tapan el conducto por donde pasa el lubricante y comienza el ciclo anteriormente explicado, luego de estos casos existen los habituales debidos a sobrecargas y fatigas del mismo material, deteriorandolo o deformandolo, complicando su trabajo y el del resto de partes en el motor.

2.13.5. Vibraciones producidas por falta de excentricidad

En el entrehierro no hay un espacio muy amplio para fallas, se trata de milímetros y el rotor debido a este factor no puede estar desalineado, el eje debe mantener su redondez y la excentricidad durante el giro constante, de otro modo las afecciones en estas partes están aseguradas. El problema de excentricidad se fija en dos aspectos, la estática y la dinámica.

La excentricidad dinámica las consecuencias de los daños que sufra el entrehierro provocan que esta pieza gire junto con el rotor y pueden darse por ovalidad del rotor o por que el centro de rotación esté mal ubicado. En cambio en la excentricidad estática el entrehierro de igual forma sufre deformaciones pero se encuentra fijo sin movimiento y puede ser causada por la ovalidad del estator o un mal posicionamiento del rotor. Adicionalmente en ambos casos puede pasar que los cojinetes esten mal apoyados u ocurran flexiones en el eje.

2.13.6. Vibraciones producidas por desbalances

Probablemente es el tipo de causa más común de vibraciones en motores eléctricos, siempre hay un tipo de desbalance y siempre se debe programar

revisiones y calibraciones respectivas al caso. Puede haber desbalance de tres tipos: estático, par y dinámico.

Las chumaceras y cojinetes se verán afectados directamente por la transmisión de vibraciones que ocasionan las fuerzas centrífugas sobre el rotor, que a su vez son provocadas por los diferentes tipos de desbalances.

El desbalance estático describe un desbalance con respecto al eje de rotación, debido a que el eje longitudinal del rotor está desplazado. La parte más pesada cuando un motor está acoplado a piezas giratorias quedará en la parte inferior, para que el rotor se equilibre no hay necesidad de girarlo.

El desbalance par ocurre cuando el eje de rotación se ve interrumpido en el centro de masa del rotor por el eje longitudinal de inercia. Todo lo contrario al desbalance dinámico en el cual no se interpone y tampoco se encuentra paralelo al mismo.

Las causas de estos desbalances ocurren con frecuencia y por parte de agentes internos y externos que se pueden llegar a acumular o pueden provocar reacciones en cadena de fallos, dependen mucho de los tipos de mantenimiento que se realicen para prever los problemas tales como:

- Desgaste
- Erosión
- Rozamiento
- Corrosión
- Deformación
- Temperatura

2.13.7. Vibraciones producidas por falta de alineamiento

La mayoría de los motores eléctricos se utilizan en la industria acoplados a otras máquinas o dispositivos usandolos así como un intermediario en el funcionamiento general del conjunto. Estos acoplamientos suelen verse afectados por falta de alineamiento y producir vibraciones que dañaran severamente desde el acople hasta posiblemente otras partes de la maquinaria en cuestión.

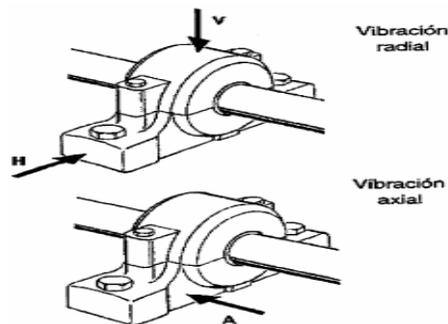


Fig. 8 – Sentido de las vibraciones.

(Fuente: <http://www.motors-electrics.com/>)

Para evitar esto ambos ejes deben tener alineación axial y radial, aunque suelen desalinearse rodamientos también pero es una falla minúscula en comparación al eje. Esta alineación prevee muchos gastos de corrección y reparación, de otro modo traerá consecuencias como las citadas a continuación:

- Consumo de energía elevado
- Rotura de ejes
- Incremento de temperaturas
- Incremento en vibración axial y radial.

2.14. Unidades de medida de las vibraciones

Las vibraciones mecánicas pueden ser analizadas mediante una medición de parámetros, están establecidos y relacionados con el movimiento de oscilación, por lo tanto la variación del mismo. Analizar si una magnitud física es constante luego de su período de tiempo, posee similares características o convergen de igual forma, esto indicará que se está presenciando un movimiento periódico como suele pasar en una máquina rotativa desbalanceada. Un movimiento armónico o periódico cumple con las características de una función periódica, existe el instante de tiempo que se mueve la frecuencia en un ciclo completo, así mismo poseen la frecuencia.

Determinada por la unidad de Hertz que define los ciclos sobre unidad de tiempo, la frecuencia también puede ser definida por otras unidades como los Radianes sobre unidad de segundo y RPM(revoluciones por minuto).

Si se refiere a la amplitud en las señales armónicas, se mide como amplitud de pico a pico ($p - p$) y varios de estos parámetros se utilizan en la medición de las vibraciones mecánicas: Desplazamiento de la vibración, velocidad de la vibración, aceleración de la vibración, fase.

En el desplazamiento también se suele medir en valores de pico a pico, adicional a esta unidad también se mide en milésimas de pulgada (0.001 inches) o en micrómetros (0.001 metros).

Las mediciones se realizan por medio de transductores, los cuales se colocan en los puntos de medición dependiente del equipo y en ocasiones se utilizan medios de medición en tiempo real para focalizar problemas de forma rápida y precisa.

La figura siguiente muestra un gráfico desplazamiento-tiempo para obtener el factor de velocidad y su comportamiento.

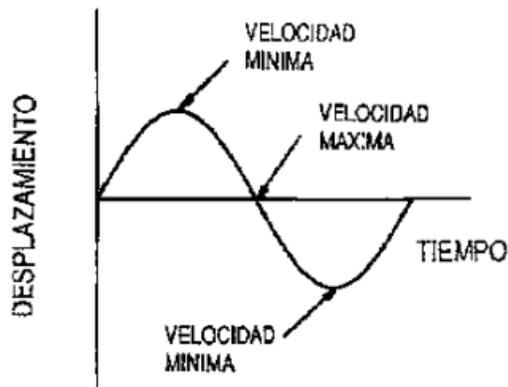


Fig. 9 – Gráfica de la velocidad de una masa que vibra.
(Fuente: <http://www.guemisa.com/>)

Con respecto a la velocidad de vibración de igual forma se mide de pico a pico y además se usan las unidades de pulgada sobre segundo (in/s) o milímetros sobre segundos (mm/s). De igual forma en la aceleración se toma en cuenta el valor de pico a pico y se usa la medida de **g**, g se refiere a la aceleración de la gravedad (980.665 cm/s²).

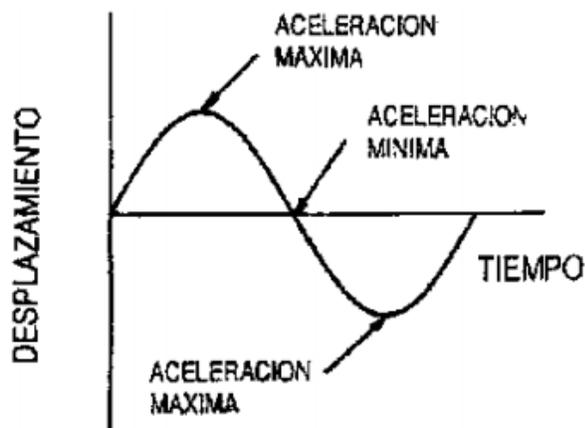


Fig. 10 – Gráfica de la aceleración de una masa que vibra.
(Fuente: <http://www.guemisa.com/>)

Y por último la fase se define como la media entre dos puntos de medición, generalmente visualizada como el ángulo de separación.

Todos estos parámetros son en los que se puede medir la amplitud y para determinar cual escoger para la medición que se vaya a realizar ya que depende de el tipo de problema, el diagnóstico, el equipo, etc.. A pesar de esto en base a experimentos y estudios se ha concretado que las medidas recomendables para cada tipo de medición se determinan de la siguiente forma

Frecuencias	Unidades de amplitud
Menores a 10 Hz (600 rpm)	Desplazamiento(p-p, 0.001in, 0.001m)
10 Hz – 1000 Hz (600 rpm – 60000 rpm)	Velocidad (p-p, in/s, mm/s)
Mayores a 1000 Hz (60000 rpm)	Aceleración (p-p, gs)

Tabla No. 1 – Unidades de medición de vibraciones.

(Fuente: Autor)

Según el tipo de medición se usa diferentes transductores para realizar el análisis de vibraciones, se visualizará un espectro de frecuencias que es el que filtrado ayudará a verificar las características de cada señal que emite cada componente de los motores eléctricos.

Los datos nominales del motor se deberán registrar cuando la máquina esté funcionando en condiciones normales y así estos valores serán la referencia de vibraciones para compararlos a futuros espectros y reflejar resultados y análisis dependiendo del proceso de las vibraciones.

Las normas juegan un papel importantísimo en estos análisis ya que hay estándares en los niveles de vibraciones mecánicas para diagnosticar la gravedad de la situación o las acciones inmediatas o programadas a ejecutarse sobre su evaluación.

2.15. Normativa de vibraciones mecánicas

El juicio de un análisis de vibración mecánica sobre una máquina rotativa se decreta con respecto a los estándares ya justificados, depende también de la variable a considerar (desplazamiento, velocidad o aceleración) sea de igual forma correspondiente al rango de frecuencia en estudio.

El resultado luego de la observación determinará la severidad de la vibración, juzgados en dos parámetros: frecuencia y amplitud.

2.15.1. Carta de Rathbone

Como primer estándar o guía (que no cuenta como norma) y se toma en cuenta como valores aceptables en el área industrial (1930), posteriormente mejorada propone un diagnóstico en escalas logarítmicas, frecuencial (Hz) y amplitudes en desplazamiento (Pico a pico), las que ayudarán a determinar la gravedad de dichas vibraciones.

La carta de Rathbone fue creada para máquinas de bajo RPM y tiene algunas características limitaciones como por ejemplo que es aplicable únicamente en equipos de maquinaria rotativa y que no toma en cuenta la potencia de la máquina y la rigidez de sus anclajes o soportes, dando así valores básicos y no tan específicos en casos especiales o de variables estáticas/dinámicas.

Presenta varios niveles de gravedad en función de los tres factores ya nombrados en escalas que pueden diagnosticar con propósitos preventivos soluciones adaptables al medio y al tipo de maquinaria. Usando los datos de

esta tabla se pueden definir también valores para el trabajo en condiciones óptimas en caso de proponer un historial desde inicio del equipo.

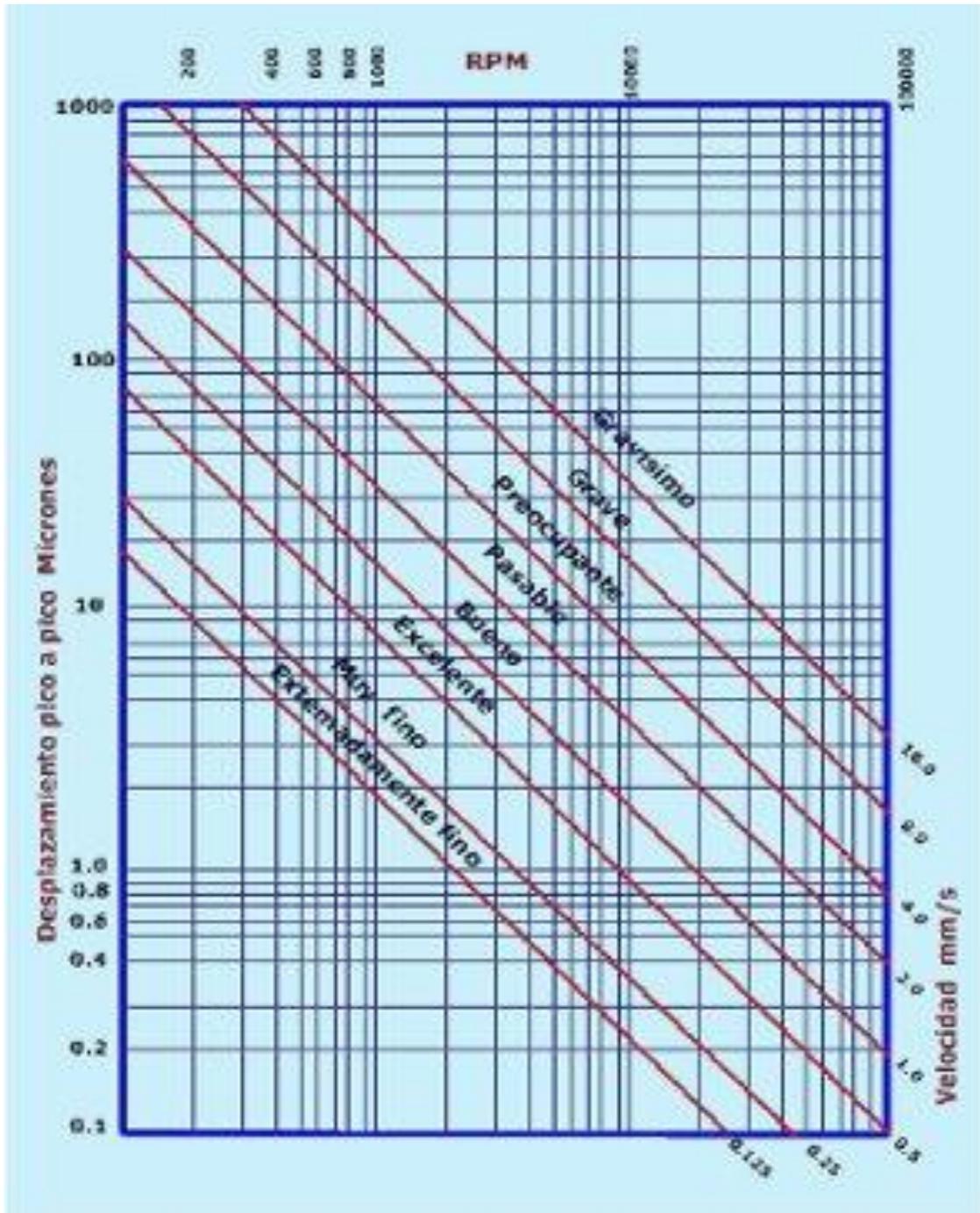


Fig. 11 – Carta de Rathbone.
(Fuente: <http://www.imac.unavarra.es/>)

Aunque es muy útil, tiene muchas limitaciones entre las cuales se encuentran las siguientes:

- No especifica tipo de máquina, rigidez o potencia.
- No aplica a otro sistema que no sea de máquinas rotativas.
- Para que la severidad no se vea afectada, la amplitud en desplazamiento tiene que ser menor comparada a la frecuencia que deberá ser mayor.

Por otro lado las normas ISO (International Standard Organization) poseen varios documentos legalizados que aplican específicamente a equipos y maquinaria diferente, con datos veraces y que estudian con una variedad de normas estos aspectos. Citando las siguientes:

2.15.2. ISO 2372 -1974. (Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación). (Universidad pública de Navarra, 2012)

Aplica a máquinas rotativas con rotores rígidos y a máquinas rotativas con rotores flexibles en los que la medida de vibración en la tapa del cojinete resulta indicativa del comportamiento vibracional del eje. (Universidad pública de Navarra, 2012)

Solo estudia vibración global, sin bandas de frecuencia. Los datos que se requieren para su aplicación son el nivel global de vibración en velocidad – valor eficaz RMS, en un rango de frecuencia entre 10 y 1000 Hz (Severidad de la vibración, según ISO). El análisis de cara al establecimiento de la severidad de vibración admisible, se distinguen varias clases de máquinas rotativas. (Universidad pública de Navarra, 2012)

A continuación los distintos tipos de clases:

- CLASE I – Componentes individuales, totalmente conectados al conjunto de la máquina en condiciones normales de operación.
- CLASE II – Máquinas de tamaño medio.
- CLASE III – Motores principales grandes, con cimentación rígida y pesada.
- CLASE IV – Motores principales grandes montados sobre cimentación blanda y ligera. (Universidad pública de Navarra, 2012)

Velocidad (mm/s, rms)	Tipos de máquinas			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,18 a 0,28	A			
0,28 a 0,45				
0,45 a 0,71				
0,71 a 1,12				
1,12 a 1,8	B			A
1,8 a 2,8				
2,8 a 4,5	C		B	A
4,5 a 7,1				
7,1 a 11,2	D			C
11,2 a 18				
18 a 28				

A	Buena	C	Inatisfactoria
B	Satisfactoria	D	Inaceptable

Tabla No. 2 – Tabla de severidad de la norma ISO 2372.

(Fuente: <http://www.imac.unavarra.es/>)

En la Tabla No. 2 se observa claramente la división de los rangos de admisión de las vibraciones mecánicas en diferentes tipos de máquinas, una vez obtenido el valor RMS de vibración se localiza en la tabla dependiendo las características y se clasifica.

2.15.3. ISO 3945. (Medida y evaluación de la severidad de vibración en grandes máquinas rotativas, “in situ” velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s). (Universidad pública de Navarra, 2012)

Esta norma, indica que su clasificación depende del sitio de soporte para velocidades de operación de 600 y 1200 RPM. Se aplica a los grandes motores principales, Clases III y IV definidas anteriormente. (Universidad pública de Navarra, 2012)

VALOR DE LA VIBRACIÓN		TIPOS DE FUNDAMENTOS	
Vrms [mm/s]	Vrms [in/s]	RÍGIDA O PESADA (ALTA FRECUENCIA)	FLEXIBLE O LIGERA (BAJA FRECUENCIA)
0,40	0,016	BUENO	BUENO
0,71	0,028		
1,12	0,044		
1,6	0,071	PERMITIDO	PERMITIDO
2,8	0,11		
4,5	0,18	TODAVIA PERMITIDO	TODAVIA PERMITIDO
7,1	0,28		
11,2	0,44	NO PERMITIDO	NO PERMITIDO
18,0	0,71		
28,0	1,10		
71,0	2,80		

Tabla No. 3 – Tabla de severidad ISO 3945.

(Fuente: <http://www.imac.unavarra.es/>)

La clasificación de la severidad para esta norma depende de las características del sistema de soporte que tenga el equipo o maquinaria:

- ❖ Si la frecuencia principal de excitación es mayor que la frecuencia fundamental de la máquina sobre los soportes, dichos soportes son flexibles.

- ❖ Si la frecuencia principal de excitación es menor que la frecuencia fundamental de la máquina sobre los soportes, entonces los soportes son rígidos. (Universidad pública de Navarra, 2012)

2.15.4. ISO 10816 -1995 (Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas). (Universidad pública de Navarra, 2012)

Establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo y obtener un mejor mantenimiento que prolongue la vida útil del equipo y mejore de forma exponencial la calidad de su uso.

Esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica. Este estándar consta de cinco partes:

- ❖ Parte 1: Indicaciones generales.
- ❖ Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- ❖ Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- ❖ Parte 4: Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- ❖ Parte 5: Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

Evaluación:

- ❖ Zona A: Valores de vibración de máquinas recién puestas en funcionamiento o reacondicionadas.
- ❖ Zona B: Máquinas que pueden funcionar indefinidamente sin restricciones.
- ❖ Zona C: La condición de la máquina no es adecuada para una operación continua, sino solamente para un período de tiempo limitado. Se deberían llevar a cabo medidas correctivas en la siguiente parada programada.
- ❖ Zona D: Los valores de vibración son peligrosos, la máquina puede sufrir daños.

Velocidad	in/s rms mm/s rms										
	10-1000 Hz r > 600 rpm										
2-1000 Hz r > 120 rpm	0,43	11									
	0,28	7,1									
	0,18	4,5									
	0,14	3,5									
	0,11	2,8									
	0,09	2,3									
	0,06	1,4									
	0,03	0,71									
			Base	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible
			Tipo de máquina	Bombas > 15 kW flujo radial, axial o mixto				Tamaño medio 15 kW < P ≤ 300 kW		Grandes máquinas 300 kW < P < 50 MW	
				Motor integrado		Motor separado		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H	
			Grupo	Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1	

- A** Máquina nueva o reacondicionada
- B** La máquina puede operar indefinidamente
- C** La máquina no puede operar un tiempo prolongado
- D** La vibración está provocando daños

Tabla No. 4 – Tabla de severidad según norma ISO 10816 – 3.

(Fuente: <http://www.imac.unavarra.es/>)

2.16. Instrumentación

Para realizar cualquier tipo de medición dentro de este aspecto del análisis de vibraciones, se toma en cuenta que debe utilizarse equipo y herramientas que ayuden a hacer un mejor trabajo, la tecnología brinda una variedad de dispositivos y transductores de los cuales se detallan las características de algunos.

Dependiendo de tu área laboral vas a necesitar de dos a más sensores, ya sea que tengas máquinas rápidas o lentas, depende también del entorno de trabajo, si existen turbinas o máquinas que posean cojinetes, variará tu necesidad de sensores y el tipo de montaje de los mismos.

La calibración de los instrumentos también es de gran importancia, debido a que eventualmente suelen fallar si no se calibran dentro de un tiempo estimado.

Para entender mejor el trabajo de un instrumento como el transductor se tiene que definir su función, la cual es de transformar magnitudes físicas en señales codificadas que se visualizan de forma análoga o digital, constan de 3 partes características la captación, que se realiza por medio de un sensor. El filtro que ayuda a tratar la señal para acomodarla a la visualización, y la alimentación, la cual se compone por el amplificador que es la salida del transductor.

Hay tres tipos de transductores para este campo de estudio. Desplazamiento, de velocidad y aceleración, para medir máquinas lentas la mejor opción es la medición por desplazamiento, para medir máquinas rápidas la mejor es aceleración y el parámetro de velocidad está entre ambos factores como el valor medio.

2.16.1. Desplazamiento

Son los transductores de desplazamiento que se sub dividen en su forma de captar la información, ya sea esta de contacto o sin contacto. Como dice en su nombre los transductores de contacto necesitan de permanecer en contacto con la superficie vibrante para su medición, miden el movimiento relativo entre la punta del sensor y el eje. (Tav Corp, 2009)



Fig. 12 – Transductor de desplazamiento de contacto.
(Fuente: <http://www.tav.net/transductores/>)

Su funcionamiento se define por medio de la energización del bobinado primario de corriente alterna, amplitud constante y frecuencia que oscila entre 1 y 10 kHz, lo cual crea un campo magnético en su centro induciendo la señal en el bobinado secundario, justo coordinado con el núcleo móvil que no tiene contacto con ninguna otra parte que pueda restar energía mecánica, para su buen mantenimiento. En tanto los transductores de desplazamiento sin contacto funcionan por el método de la proporcionalidad existente entre la capacitancia y la distancia entre las placas del capacitor. (Lopez, 2010) Consiste específicamente en dos placas, la que vibra y la placa del transductor, obviamente su distancia variará en razón del movimiento de vibración y crea una variación en la capacitancia y posteriormente convertirlo en señal codificada.

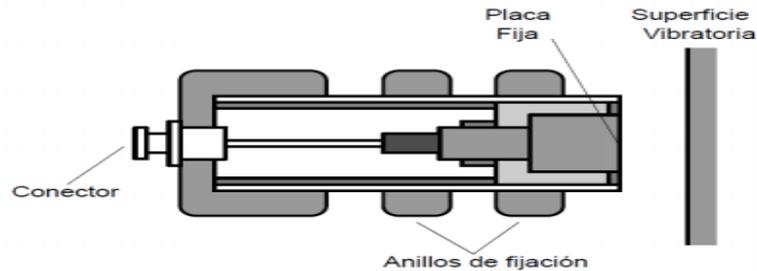


Fig. 13 – Transductor de desplazamiento sin contacto.
 (Fuente: <http://www.tav.net/transductores/>)

Ventajas:

- Respuesta de baja frecuencia
- Miden desplazamiento relativo entre el eje y el apoyo
- Son fiables, dependiendo su montaje. (Tav Corp, 2009)

Desventajas:

- Caros y difíciles de instalar.
- No aptos para medidas de altas frecuencias.
- Calibración depende del material del eje.
- Depende mucho de la funcionabilidad del eje, si hay mucho desgaste suelen haber errores de medición. (Tav Corp, 2009)

2.16.2. Velocidad

Un transductor de velocidad se expresa en potencial de electricidad/velocidad, se genera un voltaje que se induce en la bobina, producto de que la bobina intercepta las líneas del campo magnético alrededor de un imán, y este voltaje inducido depende de la relación entre la densidad del campo magnético, la

longitud de la bobina y la velocidad del movimiento de la bobina, indicado en la siguiente fórmula:

$$e_i \approx BLV [12]$$

Donde: [12]

e_i = Voltaje inducido.

B = Densidad de campo magnético.

L = Longitud de la bobina.

V = Velocidad del movimiento de la bobina. (Mejía Morales, 2009)

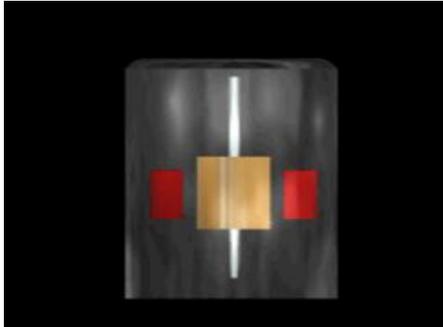


Fig. 14 – Transductor de velocidad.

(Fuente: <http://www.tav.net/transductores/>)

2.16.3. Aceleración

Los transductores de aceleración o acelerómetros, producen una carga eléctrica cuando se deforman por la acción de cierta fuerza, como en la figura describe la masa intermedia se deformará y producirá la carga de modo contraproducente, la masa tendrá una fuerza contraria hacia los cristales que variará dependiente de la aceleración de la oscilación que medirá, de este modo se puede concluir que la carga originada es ajustada a la aceleración de la vibración. (Mejía Morales, 2009)

A continuación una figura de la estructura interna del transductor de aceleración:

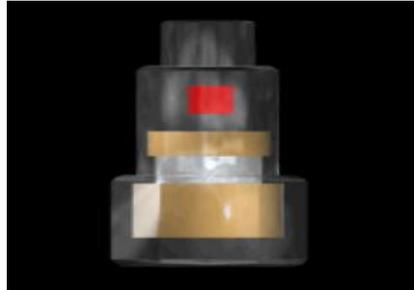


Fig. 15 – Transductor de aceleración.

(Fuente: <http://www.tav.net/transductores/>)

Luego de estos transductores se realiza la visualización de los espectros de señal que se obtienen con los anteriormente ya indicados, para realizar estas mediciones se utilizan analizadores de espectro, analizadores de redes y analizadores digitales.

Estos dispositivos con display, muestran los valores medidos y los registra para su análisis y diagnóstico. Las señales digitalizadas y codificadas se usan para crear una representación gráfica con las coordenadas y componentes frecuenciales o armónicos.

2.17. Análisis de vibraciones

Como anteriormente fue indicado, hay varios tipos de fallas por las que puede vibrar anormalmente una máquina rotativa o motor eléctrico, los detalles de cada espectrograma se analizan y se dispone del respectivo diagnóstico para proceder al mantenimiento.

Según sus tipos de fallas se puede clasificar y diagnosticar los espectros de la siguiente forma y tipo.

Fallas electromagnéticas

Se puede diagnosticar mediante la verificación del espectro de frecuencias en la cual se observaría un incremento en la frecuencia de deslizamiento producto de que la velocidad de rotación decayó y que generalmente se relaciona a corto circuito en el devanado del estator.

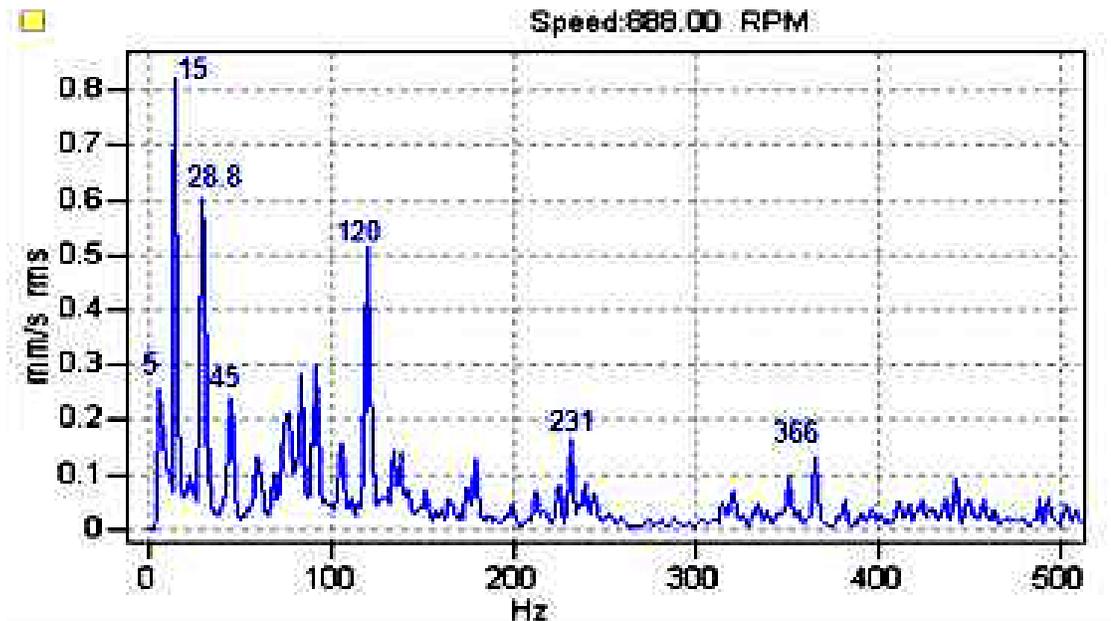


Fig. 16 – Espectro de falla electromagnética.

(Fuente: <http://www.motors-electrics.com/>)

Rotura de barras del rotor

Para verificar este tipo de falla en un motor eléctrico se necesita hacer un análisis previo a la corriente de alimentación del mismo, motivo por el cual los campos magnéticos de la corriente de alimentación ayudarán a descifrar esta falla, sin embargo siempre habrán armónicos presentes en estas líneas de alimentación, esta falla ocasionará que los armónicos aparezcan superpuestos en los espectros.

Partes flojas

Provoca armónicas de frecuencia correspondientes al 50% de la velocidad de rotación y valores adyacentes de la frecuencia preliminar a esta similares al 50, 100 y 150 por ciento. Se verifica el espectro de las piezas individuales y se analiza el porcentaje de relación entre unos y otros armónicos. (Mejía Morales, 2009)

Los fallos que se derivan del mal montaje o de que se aflojen piezas por motivo del constante movimiento o vibración continua, suelen producir por reacción daños severos en dichas partes flojas y en sus adjuntas.

Excentricidad

Para definir una falla por excentricidad en motores eléctricos, se origina en la aparición de armónicos de baja y alta frecuencia en el espectro de análisis de corrientes del estator, aparecen fuerzas originadas en pulsos eléctricos que producirán vibraciones diferentes y un incremento significativo de las vibraciones adicionales. Puede ocurrir por la modificación del entrehierro en motores asíncronos que luego produzcan cambios en su fuerza magnetomotriz, se originarán magnitudes de fuerza que pulsarán a frecuencias correspondidas con la velocidad de giro del rotor. (Mejía Morales, 2009)

Los espectros que se muestran determinan y diagnostican fallas por excentricidad estática y dinámica con sus características de señal, frecuencia y picos que definen una forma correspondiente, identificando las falencias que puede ocasionar y como se puede corregir. Por medio del informe se efectúa una inspección que acredite la razón definitiva para que proponga el mantenimiento respectivo y correcciones que deban darse.

La figura 17 nos indica claramente las características que determinan la excentricidad.

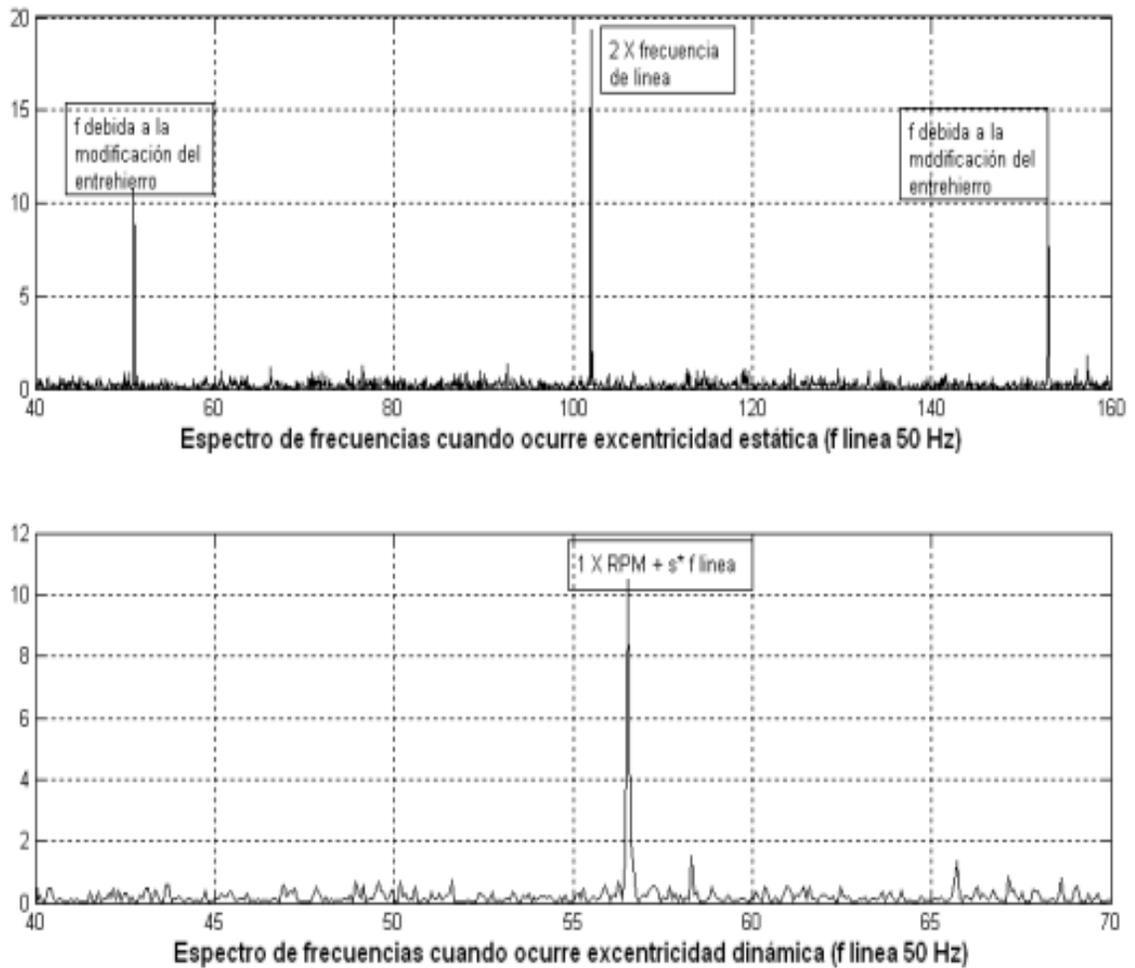


Fig. 17 – Espectro de fallo por excentricidad.

(Fuente: <http://www.motors-electrics.com/>)

Falta de alineamiento

Este tipo de falla es muy característico y tiene varios tipos de desalineamientos que se describen dependiendo del tipo de armónico que presente el espectro de frecuencias.

Desalineamiento vertical: Vibraciones radiales a frecuencias armónicas iguales a 2 ciclos sobre la rapidez de rotación. (Mejía Morales, 2009)

Desalineamiento angular: Oscilaciones centrales de repetición armónica que reproducen a la celeridad de giro del rotor o pueden llegar hasta 3 veces esa velocidad. (Mejía Morales, 2009)

Desalineamiento horizontal: Tres armónicas significativas, medidas en dirección vertical. (Mejía Morales, 2009)

Estado catastrófico: Si las 3 armónicas son significativas en las tres direcciones de medición

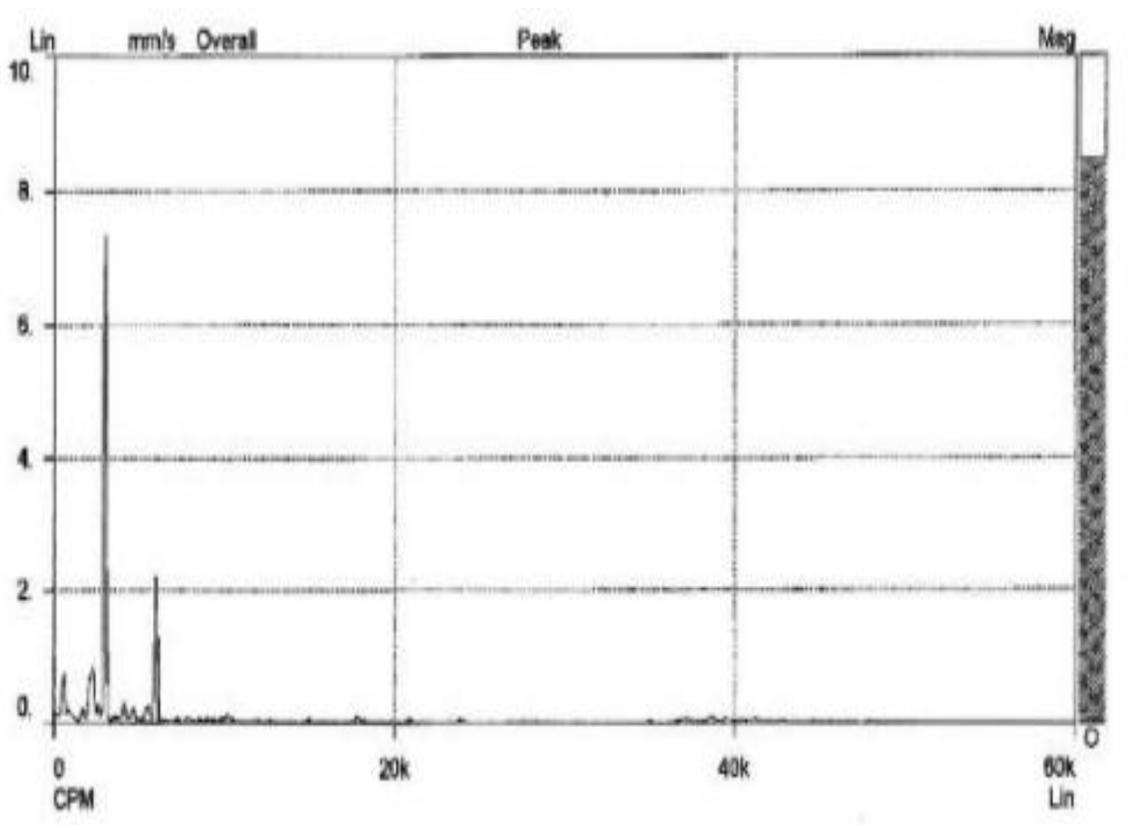


Fig. 18 – Espectro de Falla por falta de alineamiento angular.

(Fuente: <http://www.motors-electrics.com/>)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Sistema de hipótesis y variables

Si se implementan nuevos temas de estudio tanto teórico como práctico en las materias, el nivel de conocimiento de los estudiantes de la carrera mejorará, acreditando adicionalmente a la universidad.

Variables a medir:

Nivel de conocimiento

Temas de estudio

Para comprobar esta hipótesis la propuesta es la siguiente, se presenta un syllabus de la materia de máquinas II en la cual se trata el tema de motores eléctricos y se dispone implementar un nuevo capítulo o tema de estudio en dicha cátedra, se ordenará el syllabus de cierta forma que no afecte a los otros temas, la idea principal era crear una materia individual en la que se dicte durante un semestre este nuevo e importante tema para esta carrera, por lo que se empezará añadiendo como un tema adicional en una materia de forma experimental y luego si se decide por consejo directivo crear la materia, se extenderá el estudio.

Siendo ambas variables proporcionales entre sí, es bueno indicar que no solo sería exitoso proponer un tema nuevo en cada materia, si no de actualizar los temas antiguos con investigación y estudios determinados a las diferentes áreas de las ciencias y sus derivaciones.

3.2. Diseño de estudio

El estudio de la implementación de esta materia al syllabus es un procedimiento mayormente académico de carácter legal en la universidad y se rige a varios estatutos de creación de materias y de programación académica.

Para cumplir el cometido de este proyecto el método que se usó en primera instancia fue el científico por requerimientos de soporte académico y elementos de investigación previa. Posteriormente se plantea seguir el procedimiento con el método analítico descriptivo para definir las soluciones y la propuesta con un análisis en sus variables de estudio y la interpretación de los datos del correcto procedimiento para la consecución de la implementación.

El aspecto descriptivo se toma en cuenta porque se refiere a la conjunción de las características de la carrera y su relación directa con la materia en cuestión, es de gran importancia que el área de estudio de las vibraciones mecánicas tengan su espacio en el pensum de la carrera de ingeniería eléctrico-mecánica.

3.3. Población

Este estudio se hace en base a los estudiantes de la carrera eléctrico – mecánica, que requieren de la mayor gama de conocimientos que pueda ofrecerle la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Constituyen una población pre-profesional y en vías de desarrollo.

3.4. Técnicas e Instrumentos

Las técnicas que se usan en esta propuesta son, la investigación y planificación académica. La investigación usada en primera instancia para obtener los datos

necesarios y los documentos que servirán para proponer el tema con bases científicas, procurando ocupar un espacio notorio en el syllabus de la materia.

La planificación académica es casi la mayor parte del asunto, es de vital importancia crear un buen equilibrio de los temas de la materia en un espacio que pueda desarrollar el conocimiento necesario sin aminorar el compendio de temas y capítulos que ocupan desde ya la materia actualmente.

La planificación es la programación de la cátedra que se dará en el semestre, de tal forma que se puede afectar la carga horaria de ciertos temas para adjuntar el tema de manera adecuada.

Los instrumentos que se utilizarán serán los documentos científicos y el syllabus actual de la materia para su mejora. Para un apoyo a la universidad se requiere de datos que solo la misma puede proveer.

3.5. Procedimiento

Al haber realizado ya una explicación de los componentes y bases del proyecto, el procedimiento no es tan simple y solo depende de las entidades y comisiones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, obviamente luego de la propuesta encomendada a este proyecto.

Paso a paso se dará específica importancia a ciertos aspectos y sub temas del área de análisis de vibraciones mecánicas, el tema general está dirigido a motores eléctricos, por tanto se plantea implementarla en la materia de máquinas II.

El tema de “análisis de vibraciones en motores eléctricos” se editará conforme el syllabus actual y se verificará la carga horaria estimada, disminuyendo de cierta manera las horas de clase de los demás temas, tratando de no afectar el equilibrio de lo establecido anteriormente.

Se elabora el presupuesto académico y el calendario y se presenta para la aceptación y aprobación de la comisión académica y el consejo directivo respectivamente. Luego de eso se emite la solicitud de ingreso de programación académica y el proceso ya será interno e independiente.

El syllabus del Anexo 1 contiene el documento correspondiente al semestre B-2013 e indica tal cual se dictó la asignatura en ese periodo académico. Al mismo que se le aplicarán ciertas modificaciones e implementación correspondientes a la propuesta, analizando el espacio horario y correlación con respecto a los temas actuales.

Cabe recalcar que este syllabus es del último período académico culminado, por lo tanto el proceso de actualización sería para la solicitud de programación académica del semestre A-2014.

Las competencias que ofrece este tema son extensas y probablemente luego requiera un syllabus propio conformandose de esa manera como materia de la carrera.

El tema será implementado con el título de “análisis de vibraciones en motores eléctricos” constituyéndose como unidad de aprendizaje del curso, esto determinará que tenga temas de categoría y se pueda desenvolver en una carga horaria complementada y distribuida.

El alcance del tiempo de estudio de cada tema se sustentará con la disminución de minutos en los temas de baja prioridad, procurando causar el leve efecto de desequilibrio en la materia. La nueva unidad se presenta de la siguiente forma:

Unidad 4: Análisis de vibraciones en motores eléctricos.			
Temas	Contenidos	Formas de aprendizaje (Tipo de clases)	Tiempo
1. Conceptos y Generalidades	Conceptos básicos, terminología y formulas básicas de frecuencia, período, etc.	Presencial y formulación	1 hr
2. Unidades de medida, tipos de medición e instrumentación básica	Unidades de desplazamiento, velocidad y aceleración, tipos de medición en diagramas e instrumentos básicos de medición.	Presencial con diagramas y gráficos	1.5 hr
3. Normativa de vibraciones mecánicas	Uso de tablas de estándar ISO y de carta de Rathbone.	Presencial con tablas y gráficos	1,5 hr
4. Tipos de vibraciones en motores eléctricos.	Descripción de cada tipo de vibración existente y porque tipo de falla se producen.	Presencial descriptivo y explicativo con ejemplos	2 hr
5. Análisis de vibraciones	Descripción de cada espectro y diagnóstico según mediciones.	Presencial descriptivo y explicativo	2 hr

Tabla No. 5 – Unidad 4 de vibraciones en motores eléctricos.

(Fuente: Autor)

Espacio horario de 2 semanas de cátedra, equivalente a 8 horas de clase, complementando la teoría con ejercicios prácticos y casos. El equilibrio horario se verá restablecido una vez las cargas se acomoden en el nuevo syllabus.

3.6. Análisis

Este estudio recoge la información del syllabus actual y se logra determinar que la materia tiene una relación directa con las vibraciones ya que estudia los motores eléctricos en toda su extensión, según el Ing. Elías Andrade, docente a cargo de la materia de máquinas II, se indicó que el tema propuesto encaja de forma precisa y que representa un conocimiento adecuado en proporción y en concepto concreto. Además este proyecto reconoce un efecto social e intelectual del estudiante y con respecto a la acreditación individual, refiriéndose a la carrera.

Se exponen variables profesionales en el área de mantenibilidad industrial, progreso individual y colectivo dentro de la empresa o planta, y amplitud de conocimientos referentes al tema.

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil tiene reglamentación de la planeación académica dentro de los manuales de políticas, procesos y procedimientos, indica claramente cada paso a seguir para la programación del plan de estudios semestral, así que dependerá exclusivamente de las comisiones a cargo de la aceptación y regulación de estos aspectos.

Los estudiantes se verán beneficiados directamente con una plusvalía en su riqueza intelectual y posteriormente ejercer un buen desempeño profesional en el área indicada y con el conocimiento adecuado.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA

4.1. Objetivo particular de la propuesta

Optimizar el nivel de estudios de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, aportando un proyecto específico a la carrera de Ingeniería Eléctrico – Mecánica, individualmente a la materia de Máquinas II, implementando un syllabus con el tema de “análisis de vibración en motores eléctricos” para que el estudiante de la carrera tenga más conocimiento sobre un tema de gran importancia en el ámbito laboral y de mantenimiento.

La propuesta define ciertas variables a evaluar de carácter académico y distingue un alcance a futuro de sus resultados, por motivo de que el aprendizaje de este tema está ligado a su aceptación antes de su implementación, que de ser aprobado tendrá un efecto intelectual y de provecho que es lo que se busca con este proyecto, el proceso que tenga que recibir el documento académico es de responsabilidad de la facultad técnica para disposición de su actualización para el próximo período académico.

4.2. Fundamentación

Este sub área de análisis y estudio de las vibraciones mecánicas se enfoca en prever mantenimientos correctivos en motores eléctricos y en dar buena mantenibilidad y preservación de los equipos a nivel industrial y de planta, el profesional a cargo del departamento de mantenimiento en cualquier empresa deberá tener conocimiento amplio de este tema y correspondiente a su nivel

académico se vislumbrará como un experto de nivel superior y líder en su área de labor y trabajo.

El entendimiento de cada persona depende de su voluntad para aprender, eso es un factor individual y que no se discute en este proyecto, ya que no se asegura que todo el que reciba la cátedra, probará ser un profesional de calidad, no hay garantía de que el estudiante vaya a tener éxito, eso depende únicamente del alumno. En exposición a esta situación el proyecto no se ve nulo, por que imprime como su objetivo el de proveer el conocimiento al estudiante y dar plusvalía a entidad universitaria.

El asunto de la acreditación mantiene a la universidad dentro de un grupo en el que se planean mejoras, las cuales van desde la infraestructura hasta su parte académica; el planteamiento de la problemática sugiere que la carrera tiene la capacidad de añadir el tema al pensum estudiantil. Las mejoras a largo plazo actúan directamente sobre el peso de la acreditación y elevan el nivel de la universidad paso a paso.

4.3. Ubicación sectorial y física

La propuesta toma lugar y fue diseñada para la carrera de ingeniería eléctrico – mecánica específicamente para la materia de máquinas II que se dicta en la facultad técnica para el desarrollo dentro de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

4.4. Plan de ejecución

El proyecto se vería puesto en marcha para la planificación académica de la materia de máquinas II en el periodo del semestre A – 2014 a comenzar en

Abril, se plantea esta propuesta para ponerla en marcha lo antes posible y a cometido de aceptación por parte de la coordinación académica, comisión académica y consejo directivo.

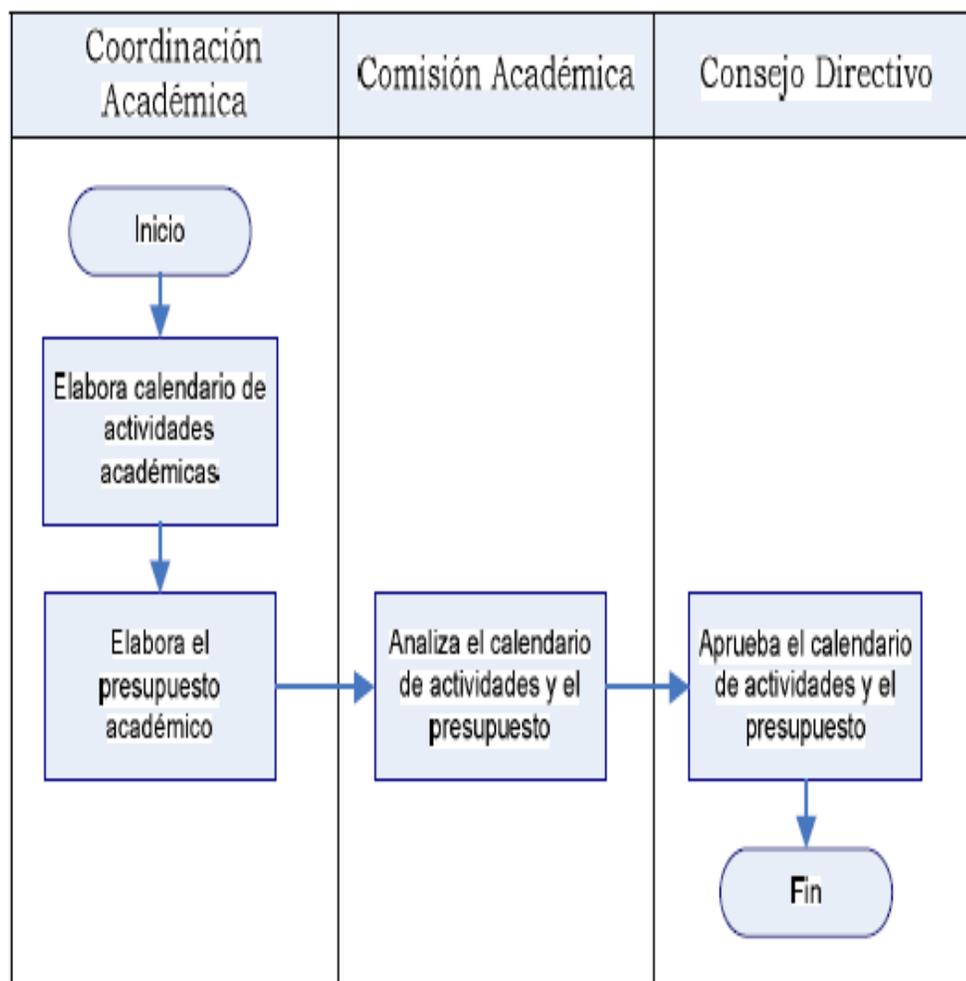


Fig. 19 – Realización de planeación académica.

(Fuente: SIU UCSG)

Luego de que todo este proceso por medio de las entidades universitarias concluye en la aprobación del calendario de actividades y presupuesto con la inclusión de la materia actualizada, comienza el proceso de ingreso de la solicitud de programación académica.

El proceso de aprobación se ve regularizado por el régimen a continuación:

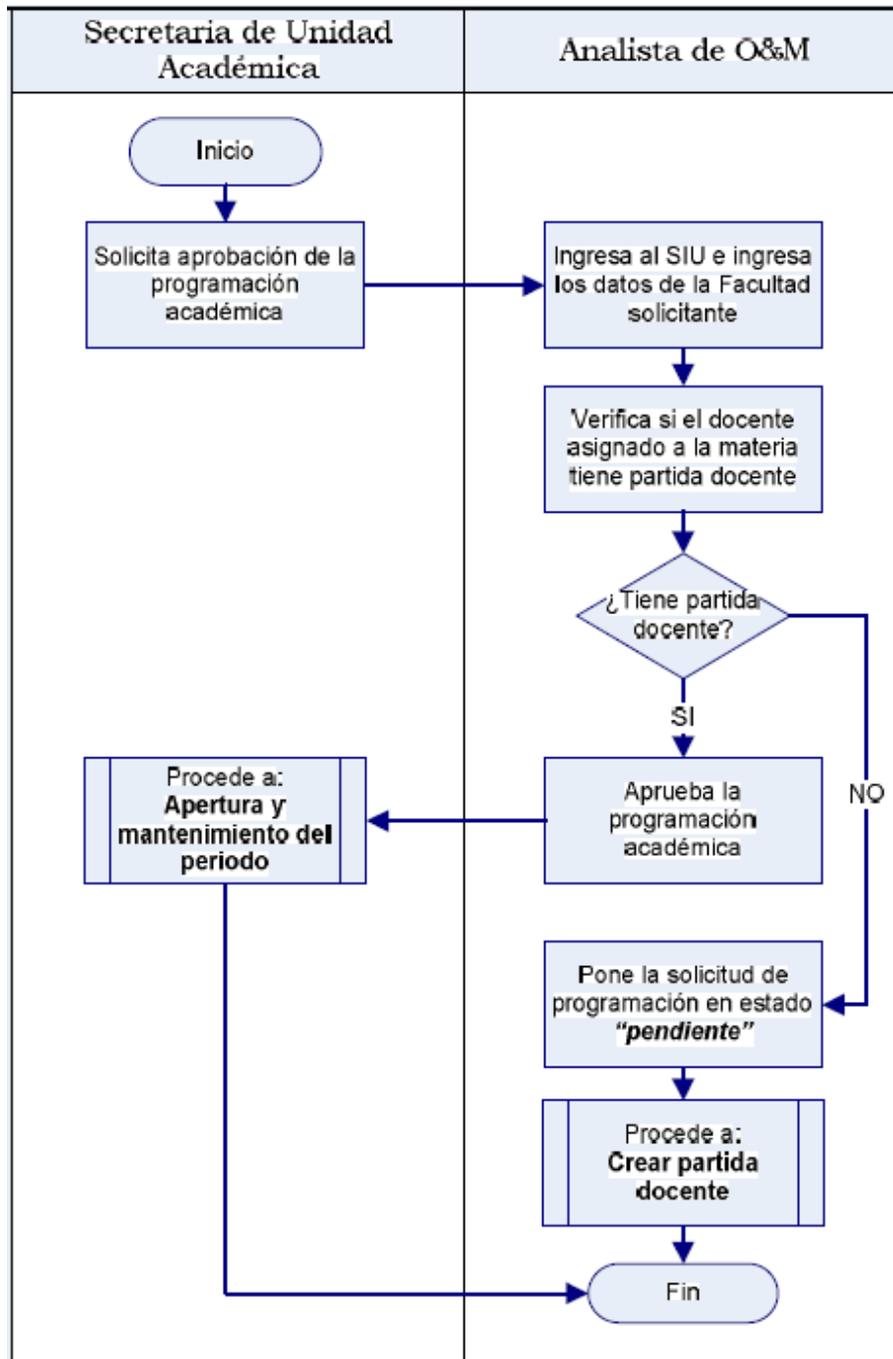


Fig. 20 – Diagrama de flujo de aprobación de programación académica.

(Fuente: SIU UCSG)

4.4.1. Recursos

Los recursos aplicados en la ejecución del proyecto son las bases científicas que acreditan al tema de gran importancia para la labor de un ingeniero eléctrico-mecánico, adicionalmente se toman en consideración los recursos de trabajo práctico que deberían de implementarse en conjunto.

El sistema de aprobación es largo y dependiente, los recursos que se necesiten para la implementación del syllabus están implícitos en la evaluación del presupuesto de la materia.

4.4.2. Evaluación

La evaluación del proyecto se realizará por medio de la evaluación que ejecuta la universidad de forma regular, dentro del semestre y luego de el mismo con la evaluación al docente, la materia requiere de un amplio entendimiento sobre las vibraciones.

Los factores a evaluar son de aspecto teórico y práctico, probablemente por la falta de un laboratorio equipado para esta materia, se puede solicitar una visita técnica a una industria o planta en la que se realicen este tipo de análisis y realizar un recorrido que dará experiencia visual y opción al estudiante de empaparse del tema en el área operativa.

Al conformar un capítulo de la materia, entrará al sistema de evaluación o examen parcial con la finalidad de confirmar lo aprendido en la asignatura.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

Ingeniería Eléctrico – Mecánica

ENCUESTA

1. ¿Cuántas horas considera usted que son las adecuadas para la carga horaria de la materia?

4

5

6

2. ¿Cómo considera que el contexto del tema de vibraciones eléctricas se relaciona con el syllabus anterior?

De buena manera

De manera aceptable

Podrían relacionarse mejor

No se relacionan

3. ¿Cree importante el adquirir el conocimiento del tema para la labor profesional?

Es importante

No es importante

Puede considerarse como un adicional de conocimiento

4. ¿Qué tan de acuerdo está con el orden de los temas actuales en la materia?

De acuerdo

No de acuerdo

Medianamente de acuerdo

5. ¿Es de su consideración que la gestión por tutorías propone temas de investigación adecuados a la materia de vibraciones?

Sí

No

Podría mejorar

6. La unidad de estudio del tema de Vibraciones, tiene un tiempo distribuido dentro de la materia de 10 horas en la 4ta. Unidad. ¿Cree usted que es el tiempo necesario para tratar el tema?

Sí

No

Podría darse de otra forma

7. ¿Ve factible la mejora del syllabus tomando en cuenta la propuesta de esta tesis?

Sí

No

¿Por qué?

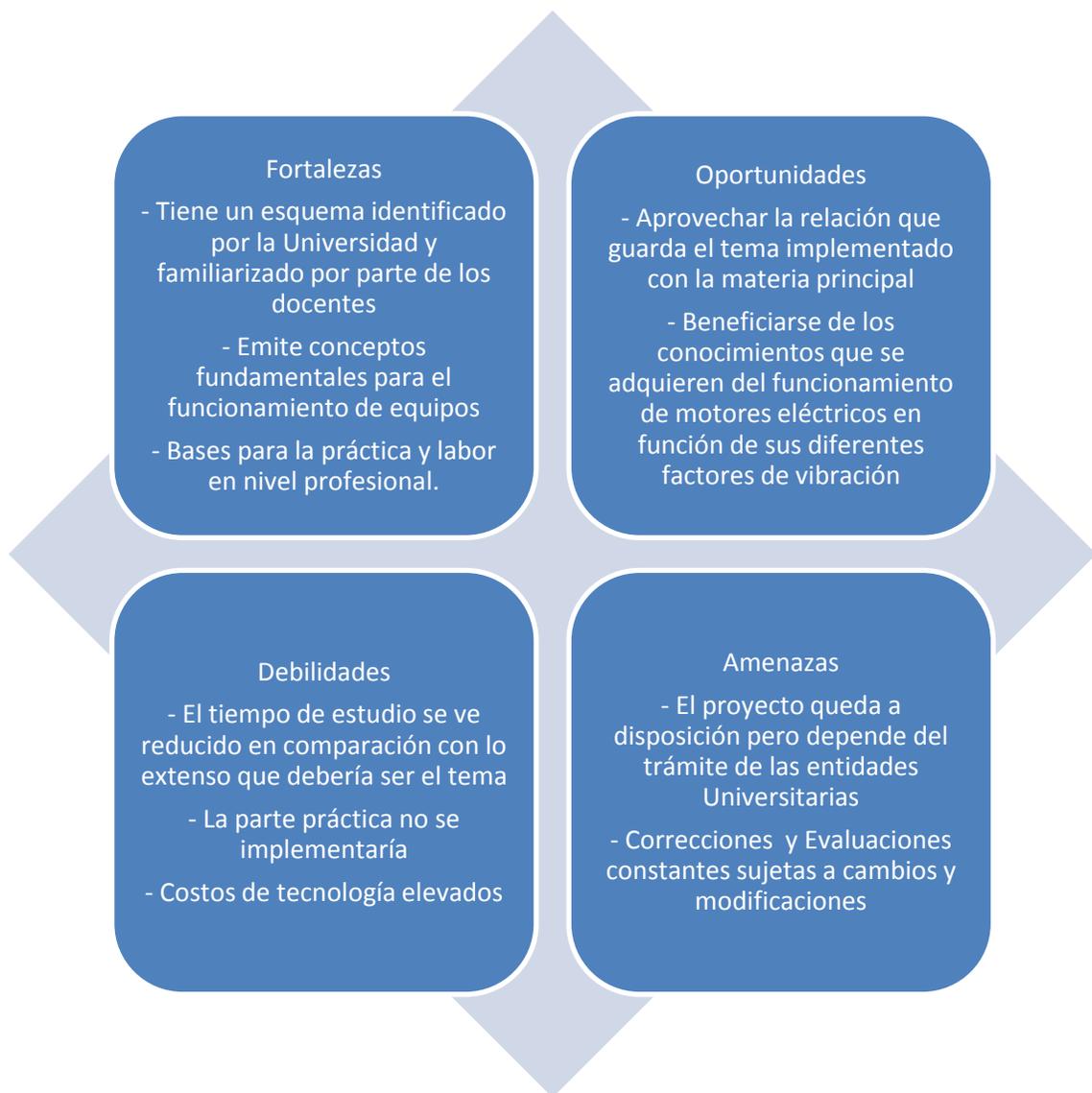
El conocimiento de estos conceptos son fundamentales para el buen funcionamiento de equipos que están en constante movimiento, con el fin de evitar desgates innecesarios de los rodamientos.

La encuesta presentada fue realizada al docente de la materia de máquinas II, el Ing. Elías Andrade. Quien muy comedidamente ayudó en la evaluación de esta propuesta indicando la factibilidad y los motivos de beneficio del proyecto a implementar en su materia, así también como había calificado el proyecto como una solución intelectual.

4.4.3. Análisis FODA

Para establecer de forma correcta la propuesta se consideran las características internas y externas del proyecto conforme a su entorno y su desarrollo interno. Conforme a lo que indican las bases fundamentales de el análisis FODA se definirán los correspondientes grupos de elementos de juicio.

Se presenta entonces el esquema que indican las características de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que se analizaron según lo que determina el proyecto, su alcance y limitaciones correspondientes.



4.4.4. Resultados

Los resultados están ligados estrechamente con la aprobación de la propuesta. El syllabus contiene la planeación que proyecta la materia y que se

desenvolverá en el período académico y da garantía de conocimiento al que se empeña en adquirirlo; los resultados individuales son independientes de este programa de estudios, mientras que los resultados colectivos afectan positiva y directamente a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, proveyendo una mejora en el contenido y conocimiento que ofrece la institución a sus estudiantes.

La universidad estará apta de indicar que el perfil de egreso de la carrera de ingeniería eléctrico – mecánica posee la capacidad de hacer estudios, análisis y diagnósticos de vibraciones mecánicas en motores eléctricos. Que dentro de sus aptitudes se encuentra el diseñar y programar planes de mantenimientos preventivos en base de análisis de vibraciones a maquinarias.

4.5. Syllabus a implementar

Este syllabus es el resultado de la implementación de la unidad 4: Análisis de vibraciones en motores eléctricos.

Se presenta el syllabus en el formato y esquema que utiliza la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en el Anexo 2 de este proyecto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El conocimiento referente a este área de la ciencia eléctrico – mecánica es de gran importancia para el profesional que labora con máquinas eléctricas que poseen esta característica de vibración continua, para su mantenimiento, análisis y supervisión.
- La implementación de la nueva unidad en la materia de Máquinas II da una ventaja y beneficio propio a la Universidad y a los estudiantes, otorgando conceptos válidos que se aplican en la rutina de trabajo del profesional.
- El análisis y diagnóstico por vibraciones mecánicas en motores eléctricos es un proceso de mantenimiento óptimo ya que todos los motores eléctricos vibran y esta vibración puede descifrar y preveer daños futuros.
- Las normas y valores estándar de vibración se fijan en datos para diferentes tipos de máquinas eléctricas que puedan producir variedad de vibraciones y dependiendo de sus soportes o cimentaciones pueden aumentar o disminuir, siendo igualmente detectadas en los armónicos creados.

- Los transductores, instrumento que se utiliza para la medición de oscilaciones en motores eléctricos pueden fallar por falta de calibración o mal uso de la herramienta de trabajo, una mala lectura puede afectar a todo un proceso industrial.
- Los espectros de frecuencia varían acorde a el tipo de falla y la ubicación de donde proviene la vibración anormal, su visualización en el análisis espectral de vibraciones ayuda a su diagnóstico y localización.
- Con respecto a los mantenimientos preventivos y predictivos que se logran realizar gracias a la efectividad de la evaluación de vibraciones, conforman un ahorro económico significativo para la industria o planta que se beneficia con los servicios de este proceso.

5.2. Recomendaciones

- La implementación del syllabus está sujeta a edición y se recomienda la revisión del mismo por parte del docente del área.
- Se indica que las normas explicadas en este documento están ajustadas acorde a actualizaciones periódicas, de preferencia sincronizar la información.
- El costo de un laboratorio para prácticas de análisis de vibraciones es amplio (oscila entre \$3500 ~ \$10200 por equipo de medición) pero se aconseja su implementación para el buen desempeño de la materia.

- El syllabus propuesto está sometido a cambios de horarios que limitan el tiempo y área del estudio, dar prioridad a la creación de la materia en la carrera sería un mejor avance que el ya aplicado.

BIBLIOGRAFÍA

- Departamento de Matemática Aplicada y Estadística. (2010). *Transformada de Fourier*. Retrieved enero 11, 2014, from http://matap.dmae.upm.es/Asignaturas/MetodosMatematicos_eiae/Transformada_Fourier.pdf
- Diaz del Castillo, F. (2011). *Lecturas de Ingeniería 17 - Vibraciones Mecánicas*. Retrieved enero 10, 2014, from Cuantitlán: Universidad Nacional Autónoma de México: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/vibraciones_mecanicas.pdf
- French, A. (2006). *Vibraciones y Ondas*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
- Lopez, R. A. (2010, nov 12). *Slideshare*. Retrieved Enero 30, 2014, from Analisis de vibraciones: <http://www.slideshare.net/RamdolfAntonioArveloLopez/analisis-de-vibraciones>
- Mejía Morales, J. (2009). *Análisis de vibraciones en motores eléctricos asíncronos trifásicos*. Retrieved enero 15, 2014, from Universidad de San Carlos de Guatemala: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0158_ME.pdf
- Meruane, V. (2010). *Vibraciones Mecánicas*. Retrieved enero 10, 2014, from Chile: Departamento de Ingeniería Mecánica: <http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20CIENCIAS%20MATEM%C3%81TICAS%20F%C3%8DSICAS%20Y%20QU%C3%8DMICAS/INGENIER%C3%8DA%20MEC%C3%81NICA/07/vibraciones%20mecanicas/libros/vibraciones%20mecanicas.pdf>
- Ramos, A. (2010). Retrieved Enero 25, 2014, from <http://antonioramos.webs.com/guias.pdf>
- Tav Corp. (2009). *Analista de vibraciones - Nivel I*. Retrieved enero 22, 2014, from <http://www.tav.net/transductores/medida-vibraciones-sensores.pdf>
- Tav.net. (n.d.). *Analista de vibración - Nivel 1*. Retrieved from <http://www.tav.net/transductores/medida-vibraciones-sensores.pdf>
- Torres, F. R. (2011). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. Retrieved enero 24, 2014, from Universidad de Zaragoza: <http://www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>
- Universidad de Huelva. (2010). *Series de Fourier*. Retrieved enero 11, 2014, from <http://www.uhu.es/07021/ficheros/Temas/ampte8.pdf>

Universidad de Navarra. (2009). *Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*. Retrieved Enero 23, 2014, from Normativa sobre Vibraciones:
[http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asignaturas/emyv/pdfdoc/vib/vib_normativa.pdf](http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/ asignaturas/emyv/pdfdoc/vib/vib_normativa.pdf)

Universidad pública de Navarra. (2012). *Normativa sobre vibraciones*. Retrieved enero 21, 2014, from
http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asignaturas/emyv/pdfdoc/vib/vib_normativa.pdf

GLOSARIO DE TÉRMINOS

<u>Algoritmo:</u>	Es un conjunto prescrito de instrucciones definidas y ordenadas que permiten ejecutar una actividad mediante pasos sucesivos sin opción a dudas.
<u>Autárquico:</u>	Que es autosuficiente y no necesita ayuda de los demás.
<u>Cimentación rígida:</u>	El soporte sobre el que se fundamenta una estructura o maquinaria que no se puede doblar ni torcer.
<u>Cimentación flexible:</u>	El soporte sobre el que se fundamenta una estructura o maquinaria que tiene propiedades de doblarse o torcerse.
<u>Coseno:</u>	En trigonometría el coseno de un ángulo agudo en un triángulo rectángulo se define como la razón entre el cateto adyacente a ese ángulo y la hipotenusa.
<u>Display:</u>	Pantalla de un aparato electrónico que muestra visualmente la información contenida en él.

<u>Electromagnetismo:</u>	Parte de la física que estudia la interacción de los campos eléctricos y magnéticos.
<u>Espectro:</u>	Serie de frecuencias que resultan de la dispersión de un fenómeno formado por ondas.
<u>Excentricidad:</u>	Cociente entre la semidistancia focal y el semieje mayor en la elipse, y entre la semidistancia focal y el semieje en la hipérbola.
<u>Frecuencia:</u>	Número de vibraciones, ondas o ciclos realizados en una unidad de tiempo determinada.
<u>Frecuencia angular:</u>	La pulsación o frecuencia angular se describe como la periodicidad del movimiento radial dicha en razón del cambio de ángulo.
<u>Fuerza magnetomotriz:</u>	Es aquella capaz de producir un flujo magnético entre dos puntos de un circuito magnético. Es una de las variables usadas para describir un campo magnético.
<u>ISO:</u>	Siglas que corresponden a 'International Organization for Standardization, Organización internacional para la estandarización.

Momento de inercia:

Es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Cuando un cuerpo gira en torno a uno de los ejes principales de inercia, la inercia rotacional puede ser representada como una magnitud escalar llamada momento de inercia.

Ortogonalidad:

El término ortogonalidad es una generalización de la noción geométrica de perpendicularidad.

RMS:

Siglas en inglés que abrevian 'Root mean Square' o Valor Cuadrático Medio. Se usa para indicar valores eficaces.

RPM:

Se refiere a las 'Revoluciones por minuto'.

Seno:

En trigonometría el seno de un ángulo en un triángulo rectángulo se define como la razón entre el cateto opuesto y la hipotenusa.

Vibración axial:

Uno de los tres ejes de vibración; el plano axial es paralelo a la línea central de un eje o un eje giratorio de una pieza giratoria.

Vibración radial:

Uno de los tres ejes de vibración; el plano radial representa la dirección desde el transductor al centro del eje del equipo giratorio. En el caso de las máquinas verticales típicas, el eje radial equivale al eje vertical.

Vibración tangencial:

Uno de los tres ejes de vibración; el plano tangencial se encuentra a 90 grados con respecto al plano radial, y se ejecuta en la tangente con respecto al eje de accionamiento.

ANEXO 1

PROGRAMACIÓN DETALLADA DE LA ASIGNATURA SYLLABUS ACTUAL

Asignatura	MÁQUINAS II			Código RUA: 679
1. DATOS GENERALES				
FACULTAD	TECNICA		CARRERA	INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA
ÁREA	ELÉCTRICA		CICLO	V
SEMESTRE	A B		PARALELO	A
HORAS SEMANALES	4		NÚMERO DE CRÉDITOS	3
NIVEL CURRICULAR	BÁSICO O	BÁSICO ESPECÍFICO O	X	PRE-PROFESIONAL
CAMPO	DE CIENCIAS BÁSICAS DEL CONOCIMIENTO <input type="checkbox"/> DE CIENCIAS BÁSICAS DE LA CARRERA <input type="checkbox"/> DE CIENCIAS DE LA PROFESIÓN <input checked="" type="checkbox"/> DE MATERIAS HUMANÍSTICAS <input type="checkbox"/> DE INVESTIGACIÓN <input type="checkbox"/> OTROS			
PROFESOR(A)	ANDRADE DIAZ, ELIAS WASHINGTON			

RESULTADOS DEL APRENDIZAJE DEL NIVEL CURRICULAR

- Aplica los conocimientos teóricos en las prácticas de laboratorio de eléctrico - mecánico.
- Resuelve problemas de circuitos eléctricos y mecánicos poniendo en práctica los conocimientos adquiridos.
- Analiza y diseña proyectos básicos eléctricos - mecánicos.
- Diagnostica tipos de fallos en los sistemas eléctricos.
- Aplica los fundamentos, paradigmas, métodos y técnicas de la investigación.
- Relaciona los conocimientos teóricos específicos de la carrera.
- Analiza los problemas culturales del mundo contemporáneo.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA

Considerando que los motores eléctricos de varios tipos son la base de operación de la producción en masa e industria, es un valor imponente el conocimiento de su construcción, funcionamiento, y posibles fallas, tanto como en los generadores.

La localización de condiciones anormales, cambios en las magnitudes de voltaje, corriente y frecuencia, respecto a los valores permisibles, las altas corrientes, etc. Se estudian y se analizan para los distintos tipos de motores, además su aplicación a la industria es un potencial conocimiento de evaluación.

3. PRERREQUISITOS

- Máquinas I

4. OBJETO DE ESTUDIO DE LA ASIGNATURA

Los motores eléctricos en su condición de máquina rotativa y de uso como generador y motor permite desarrollar una teoría de conversión de la energía preparando al estudiante para desarrollar el manejo industrial y para el mantenimiento, control y uso de las máquinas rotativas.

A través de ella, los alumnos tienen la primera toma de contacto con las máquinas eléctricas, por lo tanto, esta asignatura desarrolla los conocimientos básicos necesarios para la formación de un ingeniero eléctrico - mecánico, tanto para el estudio de asignaturas posteriores como para su posterior ejercicio profesional.

5. OBJETIVO DE LA ASIGNATURA

Clasificar las máquinas de corrientes alternas y de corrientes continuas, explicar su funcionamiento, categorizar el uso.

6. RESULTADOS DEL APRENDIZAJE

Aplica los conocimientos teóricos y prácticos, en el funcionamiento de las máquinas rotativas eléctricas.

Soluciona problemas que se presentan en las diferentes áreas que se utilizan las

<p>máquinas eléctricas.</p> <p>Formula y calcula las características y especificaciones de las máquinas para su uso en la industria .</p>		
<p>6.1 SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA ASIGNATURA</p>		
<p>Localizar fallas en el funcionamiento de las máquinas eléctricas.</p> <p>Reparar sistemas de generación eléctrica y motores de corriente alterna y continua.</p>		
<p>6.2 COMPONENTE INVESTIGATIVO DE LA ASIGNATURA</p>		
<p>Control de velocidad de los motores de inducción y de corriente continua.</p> <p>Forma de generación en las máquinas sincrónicas en los sistemas de potencia.</p>		
<p>7. ESTRUCTURA DE LA ASIGNATURA POR UNIDADES</p>		
UNIDAD	OBJETIVOS	RESULTADOS DEL APRENDIZAJE
<p>I. Máquinas sincrónicas</p>	<p>Interpretar a través de las formulaciones y conceptos básicos, la generación de energía eléctrica y la aplicación de los motores eléctricos.</p>	<p>Comprender el funcionamiento de los sistemas de generación y de los motores.</p> <p>Manejar operativamente sistemas de generación individual y en paralelo.</p>

II. Máquinas de inducción	Análisis eléctrico – mecánico de energía, definiendo las acciones y magnitudes que intervienen, tanto en la parte eléctrica como en la mecánica y su relación entre ellas.	interpreta, aplica, define las máquinas de inducción en la industria y áreas operativas de Desarrollo.	
III. Máquinas de corriente continua	Interpretar a través de conceptos teóricos y de formulaciones básicas, el funcionamiento de los motores y generadores.	Analizar, desarrollar el comportamiento del funcionamiento de estas máquinas.	
7.1 ESTRUCTURA DETALLADA POR TEMAS			
Unidad I: Máquinas síncronas			
TEMAS	CONTENIDOS	FORMAS DE APRENDIZAJE (Tipos de clases)	TIEMPO
1. Construcción	Componentes y partes constructivas de las máquinas síncronas.	Presencial con elementos reales	2 hr
2. Velocidad de rotación	Velocidad síncrona de rotación.	Presencial con formulación y ejercicios como ejemplos prácticos	1 hr
3. Circuitos equivalentes	Diagramas eléctricos que representan a las máquinas síncronas	Presencial con gráficos	1 hr
4. Potencia y momento de torsión	Conceptos y análisis de la formación de campo magnéticos para la generación de potencia Eléctrica.	Presencial con gráficos	2 hr

5. Determinación de parámetros	Con las pruebas en vacío y de cortocircuitos en Forma teórica.	Presencial con fórmulas y diagramas	2 hr
6. Funcionamiento en vacío	Análisis del comportamiento del generador y motor hasta la saturación de la máquina	Presencial con diagramas	2 hr
7. Regulación de la tensión	Forma de control de los niveles de voltajes que se utilizan.	Presencial y ejercicios prácticos	2 hr
8. Análisis de características	Comportamiento de las maquinas sincrónicas con carga .	Presencial y diagramas	2 hr
9. Funcionamiento en paralelo	Requisitos y condiciones para el buen funcionamiento	Presencial con ejemplos	2 hr
Unidad 2. Máquinas de inducción			
TEMAS	CONTENIDOS	FORMAS DE APRENDIZAJE (Tipos de clases)	TIEMPO
1. Construcción	Identificación de partes y componentes	Explicativas con dibujos, esquemas y diagramas	2 hr
2. Deslizamiento	La velocidad de deslizamiento, que se define como la diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad del rotor	Explicativas con diagramas y formulación	2 hr

3. Campos magnéticos	Los polos magnéticos y como se producen los campos magnéticos giratorios .	Explicativas con dibujos	2 hr
4. Circuitos equivalentes	Con el desarrollo de un circuito equivalente monofásico, se estudia el comportamiento del motor trifásico.	Teórica y diagramas	2 hr
5. Potencias y par	Relación de flujo de potencias, entrada perdidas y salidas y el par de arranque.	Teórica y diagramas	2 hr
6. Análisis de características	Efectos que se produce en las máquinas de inducción de acuerdo al incremento de carga.	Teórica y gráficos	2 hr
7. Control de velocidad	Variación de velocidad del rotor cambiando, la frecuencia o el número de polos.	Presencial y diagramas	2 hr
8. Determinación de parámetros	Pruebas en vacío y cortocircuitos.	Diagramas y formulación	2 hr
Unidad 3: Máquinas de corriente continua			
TEMAS	CONTENIDOS	FORMAS DE APRENDIZAJE (Tipos de clases)	TIEMPO
1. Construcción	Partes y componentes de la máquina.	Dibujos y diagramas	2 hr

2. Clasificación	Tipos de campos magnéticos.	Presencial y diagramas	2 hr
3. Circuitos equivalentes	Diagrama de diferentes clases de máquinas DC.	Presencial y diagramas	2 hr
4. Conmutación	Reacción del inducido y la variación del voltaje.	Presencial y diagramas	2 hr
5. Control de velocidad	Métodos de control a través de ajuste de voltaje y de resistencia.	Presencial y ejercicios	2 hr
6. Eficiencia	Análisis de las pérdidas y potencias.	Presencial	2 hr
7. Características	Gráficos de voltajes y corrientes de campo.	Diagramas	2 hr

8. PROGRAMACIÓN DETALLADA DE LA GESTIÓN POR TUTORÍA

TEMA DE LA TUTORÍA			
Estudio de aplicaciones en la Industria.			
FASES DEL PROYECTO	CONTENIDO/DESCRIPCIÓN	FECHA DE INICIO	FECHA DE ENTREGA
<i>I Parcial – Fase I</i>	Presentación y explicación del trabajo de tutoría y la guía del trabajo.	23/10/2013	23/10/2013 2hs

	Formación de grupos de trabajo.		
<i>I Parcial – Fase II</i>	Investigación y estudio de componentes/dispositivos a utilizar en los circuitos, funcionamiento de los mismos y sus aplicaciones. Fuentes bibliográficas.	06/11/2013	13/11/2013 3hs
<i>I Parcial – Fase III</i>	Realizar los diferentes análisis y avances del proyecto.	20/11/2013	27/11/2013 3hs
<i>II Parcial – Fase I</i>	Realizar el marco teórico.	08/01/2014	15/01/2014 2hs
<i>II Parcial – Fase II</i>	Elaborar el primer borrador del informe final. Pre-revisión del informe en formato digital e inicio de Presentaciones ante el colectivo de la clase.	22/01/2014	22/01/2014 3hs
<i>II Parcial – Fase III</i>	Presentación informe final, exposición.	05/02/2014	12/02/2014 3hs

9. METODOLOGÍA

Explicación con conceptos teóricos y formulación, dibujos, diagramas, ejemplos con ejercicios prácticos. Previo al dictado de clase se consulta en libros de máquinas conceptos y ejercicios de aplicación.

10. EVALUACIÓN

Gestión en el aula: 25%

Trabajo escrito y oral de las clases realizadas.

Gestión por tutorías: 25%

Presentación y exposición.

Examen parcial: 50%

Escrito con preguntas teóricas y ejercicios de aplicación.

11. BIBLIOGRAFÍA

11.1. Básica

1) TEXTO : LIBROS TITULO : Máquinas Eléctricas AUTOR : Stephen J. Chapman EDITORIAL : Mc Graw Hill ANIO : 2005 EDICION : 4e ISBN : 970-10-4947-0 REF.WEB : No Ingresado

11.2. Complementaria

1) TEXTO : LIBROS TITULO : Máquinas Eléctricas y Técnicas modernas de control AUTOR : Pedro Ponce Cruz y Javier Sampi López EDITORIAL : Alfa-omega ANIO : 2008 EDICION : 1e ISBN : 978-970-15-1312-5 REF.WEB : No Ingresado

ANEXO 2

PROGRAMACIÓN DETALLADA DE LA ASIGNATURA SYLLABUS PROPUESTO

Asignatura	MÁQUINAS II			Código RUA: 679
1. DATOS GENERALES				
FACULTAD	TECNICA	CARRERA	INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA	
ÁREA	ELÉCTRICA	CICLO	V	
SEMESTRE	A B	PARALELO	A	
HORAS SEMANALES	4	NÚMERO DE CRÉDITOS	3	
NIVEL CURRICULAR	BÁSICO O	BÁSICO ESPECÍFICO	X	PRE-PROFESIONAL
CAMPO	DE CIENCIAS BÁSICAS DEL CONOCIMIENTO <input type="checkbox"/> DE CIENCIAS BÁSICAS DE LA CARRERA <input type="checkbox"/> DE CIENCIAS DE LA PROFESIÓN <input checked="" type="checkbox"/> DE MATERIAS HUMANÍSTICAS <input type="checkbox"/> DE INVESTIGACIÓN <input type="checkbox"/> OTROS			
PROFESOR(A)	ANDRADE DIAZ, ELIAS WASHINGTON			

RESULTADOS DEL APRENDIZAJE DEL NIVEL CURRICULAR

- Aplica los conocimientos teóricos en las prácticas de laboratorio de eléctrico - mecánico.
- Resuelve problemas de circuitos eléctricos y mecánicos poniendo en práctica los conocimientos adquiridos.
- Analiza y diseña proyectos básicos eléctricos - mecánicos.
- Diagnostica tipos de fallos en los sistemas eléctricos.
- Aplica los fundamentos, paradigmas, métodos y técnicas de la investigación.
- Relaciona los conocimientos teóricos específicos de la carrera.
- Analiza los problemas culturales del mundo contemporáneo.
- Analiza las posibles fallas por vibraciones mecánicas en motores eléctricos.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA

Considerando que los motores eléctricos de varios tipos son la base de operación de la producción en masa e industria, es un valor imponente el conocimiento de su construcción, funcionamiento, y posibles fallas, tanto como en los generadores. La localización de condiciones anormales, vibraciones mecánicas no usuales, cambios en las magnitudes de voltaje, corriente y frecuencia, respecto a los valores permisibles, las altas corrientes, etc. Se estudian y se analizan para los distintos tipos de motores, además su aplicación a la industria es un potencial conocimiento de evaluación.

3. PRERREQUISITOS

- Máquinas I

4. OBJETO DE ESTUDIO DE LA ASIGNATURA

Los motores eléctricos en su condición de máquina rotativa y de uso como generador y motor permite desarrollar una teoría de conversión de la energía preparando al estudiante para desarrollar el manejo industrial y para el mantenimiento, control y uso de las máquinas rotativas.

A través de ella, los alumnos tienen la primera toma de contacto con las máquinas eléctricas, por lo tanto, esta asignatura desarrolla los conocimientos básicos necesarios para la formación de un ingeniero eléctrico - mecánico, tanto para el estudio de asignaturas posteriores como para su posterior ejercicio profesional.

El estudio del aspecto de vibración amplía el área de desenvolvimiento del estudiante y lo prepara para los diferentes procesos para realizar un buen mantenimiento a nivel industrial, desarrollar y capacitarse para diagnosticar fallos y prevenir correcciones, realizar informes y análisis por medio de cálculos definidos.

5. OBJETIVO DE LA ASIGNATURA

Clasificar las máquinas de corrientes alternas y de corrientes continuas, explicar su funcionamiento, categorizar el uso y diagnosticar fallas por medio del análisis de vibraciones.

6. RESULTADOS DEL APRENDIZAJE

Aplica los conocimientos teóricos y prácticos, en el funcionamiento de las máquinas rotativas eléctricas.

Soluciona problemas que se presentan en las diferentes áreas que se utilizan las máquinas eléctricas por fallas de vibración.

Formula y calcula las características y especificaciones de las máquinas para su uso en la industria.

Identificar y diagnosticar los distintos tipos de fallas por vibración, aplicar soluciones y mantenimientos respectivos.

6.1 SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA ASIGNATURA

Localizar fallas en el funcionamiento de las máquinas eléctricas.
Reparar sistemas de generación eléctrica y motores de corriente alterna y continua.

6.2 COMPONENTE INVESTIGATIVO DE LA ASIGNATURA

Control de velocidad de los motores de inducción y de corriente continua.

Forma de generación en las máquinas sincrónicas en los sistemas de potencia.

Diagnóstico por espectrograma y tipos de transductores.

Identificación de gráficos, señales, normativas.

7. ESTRUCTURA DE LA ASIGNATURA POR UNIDADES		
UNIDAD	OBJETIVOS	RESULTADOS DEL APRENDIZAJE
I. Máquinas síncronas	Interpretar a través de las formulaciones y conceptos básicos, la generación de energía eléctrica y la aplicación de los motores eléctricos.	Comprender el funcionamiento de los sistemas de generación y de los motores. Manejar operativamente sistemas de generación individual y en paralelo.
II. Máquinas de inducción	Análisis eléctrico – mecánico de energía, definiendo las acciones y magnitudes que intervienen, tanto en la parte eléctrica como en la mecánica y su relación entre ellas.	interpreta, aplica, define las máquinas de inducción en la industria y áreas operativas de Desarrollo.
III. Máquinas de corriente continua	Interpretar a través de conceptos teóricos y de formulaciones básicas, el funcionamiento de los motores y generadores.	Analizar, desarrollar el comportamiento del funcionamiento de estas máquinas.
IV. Análisis de vibraciones en motores eléctricos	Diagnosticar y analizar por medio de las vibraciones mecánicas la variedad de fallas que ocurren en los motores eléctricos.	Diagnostica, analiza e interpreta las vibraciones mecánicas descifrando falencias y armónicos en frecuencias.

7.1 ESTRUCTURA DETALLADA POR TEMAS

Unidad I: Máquinas síncronas

TEMAS	CONTENIDOS	FORMAS DE APRENDIZAJE (Tipos de clases)	TIEMPO
1. Construcción	Componentes y partes constructivas de las máquinas síncronas.	Presencial con elementos reales	1 hr
2. Velocidad de rotación	Velocidad síncrona de rotación.	Presencial con formulación y ejercicios como ejemplos prácticos	1 hr
3. Circuitos equivalentes	Diagramas eléctricos que representan a las máquinas síncronas	Presencial con gráficos	1 hr
4. Potencia y momento de torsión	Conceptos y análisis de la formación de campo magnéticos para la generación de potencia Eléctrica.	Presencial con gráficos	2 hr
5. Determinación de parámetros	Con las pruebas en vacío y de cortocircuitos en Forma teórica.	Presencial con fórmulas y diagramas	2 hr
6. Funcionamiento en vacío	Análisis del comportamiento del generador y motor hasta la saturación de la máquina	Presencial con diagramas	1 hr
7. Regulación de la tensión	Forma de control de los niveles de voltajes que Se utilizan.	Presencial y ejercicios prácticos	2 hr

8. Análisis de características	Comportamiento de las maquinas sincrónicas con carga .	Presencial y diagramas	2 hr
9. Funcionamiento en paralelo	Requisitos y condiciones para el buen funcionamiento	Presencial con ejemplos	2 hr
Unidad 2. Máquinas de inducción			
TEMAS	CONTENIDOS	FORMAS DE APRENDIZAJE (Tipos de clases)	TIEMPO
1. Construcción	Identificación de partes y componentes	Explicativas con dibujos, esquemas y diagramas	1 hr
2. Deslizamiento	La velocidad de deslizamiento, que se define como la diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad del rotor	Explicativas con diagramas y formulación	1 hr
3. Campos magnéticos	Los polos magnéticos y como se producen los campos magnéticos giratorios .	Explicativas con dibujos	2 hr
4. Circuitos equivalentes	Con el desarrollo de un circuito equivalente monofásico, se estudia el comportamiento del motor trifásico.	Teórica y diagramas	2 hr
5. Potencias y par	Relación de flujo de potencias, entrada perdidas y salidas y el par de arranque.	Teórica y diagramas	2 hr
6. Análisis de	Efectos que se produce	Teórica y gráficos	2 hr

características	en las máquinas de inducción de acuerdo al incremento de carga.		
7. Control de velocidad	Variación de velocidad del rotor cambiando, la frecuencia o el número de polos.	Presencial y diagramas	2 hr
8. Determinación de parámetros	Pruebas en vacío y cortocircuitos.	Diagramas y formulación	2 hr
Unidad 3: Máquinas de corriente continua.			
TEMAS	CONTENIDOS	FORMAS DE APRENDIZAJE (Tipos de clases)	TIEMPO
1. Construcción	Partes y componentes de la máquina.	Dibujos y diagramas	1 hr
2. Clasificación	Tipos de campos magnéticos.	Presencial y diagramas	1 hr
3. Circuitos equivalentes	Diagrama de diferentes clases de máquinas DC.	Presencial y diagramas	2 hr
4. Conmutación	Reacción del inducido y la variación del voltaje.	Presencial y diagramas	2 hr
5. Control de velocidad	Métodos de control a través de ajuste de voltaje y de resistencia.	Presencial y ejercicios	2 hr
6. Eficiencia	Análisis de las pérdidas y potencias.	Presencial	2 hr

7. Características	Gráficos de voltajes y corrientes de campo.	Diagramas	2 hr
Unidad 4: Análisis de vibraciones en motores eléctricos.			
TEMAS	CONTENIDOS	FORMAS DE APRENDIZAJE (Tipos de clases)	TIEMPO
1. Conceptos y Generalidades	Conceptos básicos, terminología y formulas básicas de frecuencia, período, etc.	Presencial y formulación	1 hr
2. Unidades de medida, tipos de medición e instrumentación básica	Unidades de desplazamiento, velocidad y aceleración, tipos de medición en diagramas e instrumentos básicos de medición.	Presencial con diagramas y gráficos	1.5 hr
3. Normativa de vibraciones mecánicas	Uso de tablas de estándar ISO y de carta de Rathbone.	Presencial con tablas y gráficos	1.5 hr
4. Tipos de vibraciones en motores eléctricos.	Descripción de cada tipo de vibración existente y porque tipo de falla se producen.	Presencial descriptivo y explicativo con ejemplos	2 hr
5. Análisis de vibraciones	Descripción de cada espectro y diagnóstico según mediciones.	Presencial descriptivo y explicativo con ejemplos	2 hr

8. PROGRAMACIÓN DETALLADA DE LA GESTIÓN POR TUTORÍA

TEMA DE LA TUTORÍA I PARCIAL Estudio de aplicaciones en la Industria.			
FASES DEL PROYECTO	CONTENIDO/DESCRIPCIÓN	FECHA DE INICIO	FECHA DE ENTREGA
<i>I Parcial – Fase I</i>	Presentación y explicación del trabajo de tutoría y la guía del trabajo. Formación de grupos de trabajo.	04/06/2014	04/06/2014 2hs
<i>I Parcial – Fase II</i>	Investigación y estudio de componentes/dispositivos a utilizar en los circuitos, funcionamiento de los mismos y sus aplicaciones. Marco teórico, etc. Revisión de borrador. Fuentes bibliográficas.	11/06/2014	13/06/2014 3 hs
<i>I Parcial – Fase III</i>	Presentación informe final, exposición.	18/11/2014	20/11/2014 3 hs
TEMA DE LA TUTORÍA II PARCIAL Análisis de caso específico de falla por vibraciones.			
<i>II Parcial – Fase I</i>	Presentación y explicación del trabajo de tutoría y la guía del trabajo.	06/08/2014	06/08/2014 2 hs

	Formación de grupos de trabajo.		
<i>II Parcial – Fase II</i>	Investigación y estudio de casos específicos en planta o industria de fallas por vibraciones, tipos de análisis a realizar y daños que pueden provocar. Marco teórico, etc. Revisión de borrador. Fuentes bibliográficas.	13/08/2014	15/08/2014 3hs
<i>II Parcial – Fase III</i>	Presentación informe final, exposición.	20/08/2014	22/08/2014 3hs

9. METODOLOGÍA

Explicación con conceptos teóricos y formulación, dibujos, diagramas, ejemplos con ejercicios prácticos. Previo al dictado de clase se consulta en libros de máquinas conceptos y ejercicios de aplicación.

10. EVALUACIÓN

Gestión en el aula: 25%

Trabajo escrito y oral de las clases realizadas.

Gestión por tutorías: 25%

Presentación y exposición.

Examen parcial: 50%

Escrito con preguntas teóricas y ejercicios de aplicación.

11. BIBLIOGRAFÍA

11.1. Básica

1) TEXTO : LIBROS TITULO : Máquinas Eléctricas AUTOR : Stephen J. Chapman EDITORIAL : Mc Graw Hill ANIO : 2005 EDICION : 4e ISBN : 970-10-4947-0 REF.WEB : No Ingresado

11.2. Complementaria

1) TEXTO : LIBROS TITULO : Máquinas Eléctricas y Técnicas modernas de control AUTOR : Pedro Ponce Cruz y Javier Sampi López EDITORIAL : Alfa-omega ANIO : 2008 EDICION : 1e ISBN : 978-970-15-1312-5 REF.WEB : No Ingresado