Licenciatura: Ingeniería Mecánica

Nombre del proyecto de integración (PI): Evaluación de las frecuencias de resonancia en un rotor con fisura.

Modalidad: Proyecto de Investigación

Versión: Primera

Trimestre Lectivo: 23 P

Datos del alumno:

Nombre: Reyes Pérez Hiram Absalom

Matrícula: 2153035808

Correo: al2153035808@azc.uam.mx

Teléfono 5539466819

Firma

Datos del asesor:

Nombre: Dr. Homero Jiménez Rabiela

Categoría: Titular

Departamento: Energía

Teléfono: 53189069

Correo electrónico: hjr@azc.uam.mx

Firma

Fecha 29-09-2023

DECLARATORIA

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

_____

Reyes Pérez Hiram Absalom

_____

Dr. Homero Jiménez Rabiela

1. Introducción.

Las fisuras y fracturas se presentan en diferentes estructuras. Nuestro caso de estudio abarca aquellas que se presentan en rotores sometidos a torsión y flexión.

Al existir, los rotores, en todo tipo de máquinas, tanto pequeñas como grandes, como en el eje rotor de un simple taladro o en el rotor de una turbina de una central hidroeléctrica, podemos aseverar que sus condiciones de operación deben ser tanto funcionales como seguras.

Al conocer el momento de inercia de las secciones transversales de un rotor con fisura triangular diagonal cordal en función de: La coordenada longitudinal (X), geometría del rotor (L, r), inclinación (α) y orientación de la fisura (β), ver Figura 1; se calcularán los límites de los rangos de frecuencias de resonancia del rotor utilizando el método analítico e integración numérica.

De esta manera, al obtener valores desprendidos de un método analítico e integración numérica, se podrá teorizar sobre el comportamiento actual y futuro del estado de los rotores, para así tener un empleo adecuado de estos.

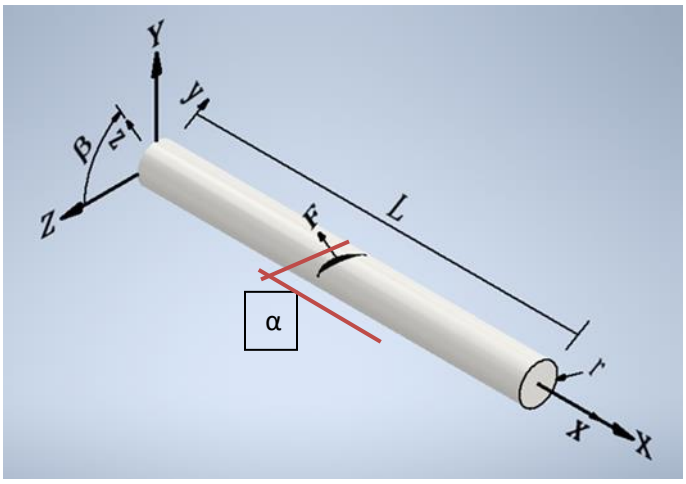

Figura 1.

2. Antecedentes.

Las estructuras diseñadas para soportar maquinas centrífugas, motores y turbinas sufren daño que proviene de las vibraciones que el accionamiento de estas máquinas o movimientos externos producen. Cuando la frecuencia natural del mecanismo coincide con frecuencias de excitación, ocurre el fenómeno llamado resonancia. Este fenómeno hace que el elemento falle, se fisure y hasta llegue al punto de fractura [1]. En base al párrafo inmediatamente anterior, el problema es identificado, básicamente en todo tipo de máquina habrá ejes rotores, los cuales son susceptibles a la falla estructural mencionada.

Un sensor de deformación permite medir cuanto cambia un objeto bajo torsión o flexión, esto mediante una galga extensiométrica, donde esta última, responde con una variación de su resistencia eléctrica [2]. Al medir la variación de la frecuencia natural de vibración del rotor, en su primer estado, o sea nuevo y comparar con su posterior estado, gastado, se observará que

la frecuencia natural de vibración habrá cambiado, así mismo se podrá comprobar si el procedimiento es adecuado cuando se coloque la galga extensiométrica y obtengamos cierta deformación por fisura.

La presencia de fisuras afecta el comportamiento dinámico de máquinas rotativas, el estudio de este efecto hace posible la identificación de la presencia, lugar, profundidad y ancho de ésta. Hay rotores en centrales eléctricas, equipo aeroespacial y sistemas de propulsión marina, por ejemplo, que presentan y han presentado este tipo de problemas. Está presente en turbinas de gas y vapor, compresores, ventiladores y hélices, por lo que el desarrollo del estudio de fisuras en rotores es importante en gran manera [3]. La detección temprana de fisuras en rotores es importante para reducir al máximo posible la entropía de los campos acústicos y térmicos.

Un estudio de E.U.A., estimó que en 1978 la fractura de rotores le costó a la economía, en dólares de 1982, 119 mil millones de dólares. La investigación de estas fracturas puede prevenir muertes innecesarias y mejorar la economía [4]. Es fundamental que se mantenga un ambiente de trabajo tan seguro como sea posible, de esta manera se previenen catástrofes y se optimizan los tiempos y movimientos.

Hay una necesidad de incluir en la evaluación del desempeño ambiental de edificios la consideración de aspectos sociales relativos al ambiente interior y exterior que ejercen un impacto sobre el bienestar, la salud, el confort y la calidad de vida de los usuarios. Se evalúan las condiciones higrotérmicas, visuales y acústicas; con el fin de mejorar el desempeño ambiental y mejorar la calidad de vida del usuario. Cuando hay maquinaria en el medio, se tiende a desarrollar ruido, que interviene con los alrededores afectando el bienestar social, por lo que se debe cuidar el desarrollo de los elementos con que se trabaje. Cuando las fisuras aparecen, los niveles de ruido se incrementan [5].

Cuando se le aplican cargas laterales a una viga no solo originan tensiones internas normales y cortantes, sino que hacen que se flexione en sentido perpendicular a su eje longitudinal, de las cuales deseamos hacer los cálculos pertinentes por nuestro tema de estudio. La deformación de una viga se expresa en función de la flecha, se mide desde la superficie neutra de la viga deformada hasta la posición original de dicha superficie. El desplazamiento en y es la flecha de la viga. Para determinar las flechas de las vigas se empleará el método de la doble integración y el método del área de momentos. Ensayos demuestran que cuando se trata de tensiones alternadas, después de cierto número de ciclos, puede ocurrir la rotura de la pieza. Para tensiones grandes la pieza puede romperse dentro de pocos ciclos y por supuesto con tensiones más pequeñas puede durar millones de ciclos. El término que define al fenómeno es la fatiga. Como resultado del desarrollo de la grieta se debilita la sección y, en la última etapa, tiene lugar la ruptura brusca. Rankine propone la teoría del esfuerzo máximo, dice que la falla tiene lugar cuando el mayor de los esfuerzos principales alcanza un valor limite, que puede ser el punto de fluencia, determinado en un ensayo de tensión simple, o el esfuerzo ultimo si el material es frágil. Se incluye la carga de torsión y de flexión dentro de la contabilización de las variables que permiten calcular nuestros temas de estudio [6, 7, 8].

Se observa que hay cambios en el comportamiento de los rotores, aun cuando las fisuras son pequeñas, se aprecia en la rigidez y los parámetros modales [9]. Las fisuras son significativas y medibles en el momento en que comienzan a presentarse.

3. Justificación.

La fisura en rotores y su posterior fractura afecta la seguridad de las personas y la economía de las empresas. Por razones obvias, éstas evitan en lo posible la publicidad relacionada con el tema.

Del nacimiento de una fisura y durante su crecimiento, dependiendo de la frecuencia natural de los sistemas y de la frecuencia de excitación de éstos, la frecuencia resultante debe monitorearse para la detección temprana del problema. Caracterizar la evolución de la mencionada frecuencia resultante es importante para aplicar el mantenimiento predictivo o preventivo evitando el procedimiento correctivo. De esta forma se ahorra tiempo y dinero en reparaciones, así mismo se mantiene un ambiente de trabajo seguro para el personal junto con una economía estable de las empresas.

4. Objetivos.

Objetivo general.

Evaluar el efecto que una fisura genera o tiene en el comportamiento elástico de un rotor afectado por ésta, en función de la variación del momento de inercia de aquella y de la rigidez global de éste.

Objetivos particulares.

Determinar los intervalos de rigidez, que presentará el rotor, para las distintas orientaciones de su fisura.

Delimitar los intervalos de revoluciones por minuto que implicarán resonancia del rotor, para las distintas orientaciones de su fisura.

Determinar de los diagramas de cargas, cortantes, pendientes y deflexiones del rotor, con base en los intervalos obtenidos a partir del objetivo anterior.

Evaluar el efecto de una fisura triangular diagonal cordal, en la rigidez global de un rotor, en función de la orientación de ésta.

Modelar virtualmente el rotor fisurado con su carga respectiva, para obtener pendientes y deflexiones.

Determinar áreas bajo la curva de momentos mediante métodos numéricos.

Determinar áreas bajo la curva de pendientes mediante métodos numéricos.

Examinar los resultados de los párrafos anteriores para la posible detección temprana de la fisura.

5. Metodología.

A partir de la variación del momento de inercia; en función de un ángulo de inclinación α, del ángulo de orientación β y de la coordenada longitudinal x del rotor; se calculará el momento por flexión M, así como las pendientes y deflexiones por integración o por métodos numéricos. Conociendo el comportamiento elástico del rotor, para diferentes orientaciones de la fisura, se obtendrá su rigidez y el rango de frecuencias en las que estaría en resonancia.

Para el cálculo del intervalo de la rigidez del eje rotor es necesario tener en consideración que este será puesto a prueba en flexión.

Para el cálculo de la flexión es necesario contar con información propia del elemento como lo son; las constantes del material empleado, magnitud de la carga y dimensiones del rotor. Esta generará dos reacciones y un momento. A continuación, se hace la suma de fuerzas, que son las cortantes y aparte la suma de momentos, que es la flexión. A partir de estos resultados numéricos es posible trazar los diagramas correspondientes.

Para el cálculo de la deflexión y la pendiente es necesario conocer la magnitud de la carga, así como su ubicación sobre el eje rotor. Se empleará el módulo de elasticidad y el momento de inercia (*E* e *I*). En el diagrama de momentos habrá un centroide del cual nos interesa su posición, así como las áreas de las figuras triangulares que se forman en este diagrama, de las cuales se obtiene la pendiente al sumar sus magnitudes donde el resultado proporciona el ángulo en radianes correspondiente. Las áreas de pendientes permitirán calcular las deflexiones.

Las áreas mencionadas anteriormente se obtendrán por métodos numéricos.

La frecuencia a la que ocurre la resonancia se puede estimar y calcular las RPM correspondientes.

Se tomará en cuenta la variación en el comportamiento que provoca la fisura en función de parámetros geométricos y cinemáticos.

Se empleará el software Inventor para determinar las áreas para inclinaciones entre cero y 45 grados así como para orientaciones desde cero hasta 360 grados.

6. Normatividad.

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-STPS-1999, 7.3. Toda instalación que soporte cargas fijas o móviles debe construirse, de tal manera que asegure su resistencia a posibles fallas estructurales y posibles riesgos de impacto, para lo cual deben considerarse tanto las condiciones normales de operación, como situaciones extraordinarias que puedan afectarlas, tales como: impacto accidental de vehículos, fenómenos meteorológicos y sismos [9]. A partir de la información proporcionada por esta norma se observa que debe existir el cuidado y mantenimiento, en el caso de estudio es para rotores, que son ideales para lograr una operación de equipo segura.

NORMA Oficial Mexicana NOM-036-SCT3-2000. Es de interés para el Gobierno Federal que se proceda a establecer las especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover la protección y mejoramiento del medio ambiente y salud de las personas originada

por el ruido de las aeronaves que operan en el espacio aéreo sobre territorio nacional [10]. Se debe tener el cuidado suficiente para cumplir con un nivel de ruido dentro de los estándares que son permisibles.

NORMA ISO 21940-11. Establece procedimientos y tolerancias de desequilibrio para el equilibrio de rotores con comportamiento rígido. Especifica la magnitud del desequilibrio residual admisible, el número necesario de planos de corrección, la asignación del desequilibrio residual admisible a los planos de tolerancia, y cómo contabilizar los errores en el proceso de equilibrio [11]. Una vez los rotores sean perjudicados por su uso comun y de manera correcta, habrá un momento en que se deban cambiar por seguridad, que está especificada en la norma.

NORMA Oficial Mexicana NOM-081-ECOL-1994. Que la emisión de ruido proveniente de las fuentes fijas altera el bienestar del ser humano y el daño que le produce, con motivo de la exposición, depende de la magnitud y del número, por unidad de tiempo, de los desplazamientos temporales del umbral de audición. Por ello, resulta necesario establecer los límites máximos permisibles de emisión de este contaminante [12]. No debe afectar la salud auditiva, en este caso, del recurso humano que se encuentre en el mismo ambiente en el que esta la maquinaria.

7. Cronograma.

Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

Actividad \Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Elaborar diagramas de cortantes y momentos.	X	X	X	X	X							
Elaborar diagrama de pendientes y deflexiones.	X	X	X	X	X							
Calcular la rigidez global del elemento.						X	X	X				
Calcular el rango de frecuencias en las que el rotor estaría en resonancia.							X	X	X	X		
Trabajo virtual representación de rotores	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Elaborar y entregar reporte final.												X

8. Entregables.

Reporte final y archivos de estudio.

9. Bibliografía

[1] Agraz M., M. A., 2020, “Estimación de parámetros de masa, rigidez y amortiguamiento de un sistema mecánico vibratorio tipo masa-resorte-amortiguador a partir del análisis por video de la respuesta de posición,” Proyecto de integración, Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma Metropolitana.

[2] Hernández A., S., 2019, “Diseño y construcción de un dispositivo para medir deformación unitaria, bajo cargas de flexión y torsión en ejes escalonados,” Proyecto de integración, Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma Metropolitana.

[3] Fellah, A., Hadjoui, A., Bakhaled, B., 2019, “Influence des fissures sur le comportement vibratoire des rotors,” Tesis, Université Abou bekr Belkaïd – TLEMCEN –Faculté de Technologie, República Argelina Democrática y Popular.

[4] Blumberg, R., L., 1995, “Catastrophic Failures Propagate Field of Fracture Mechanics,” *MRS Bulletin,* 20, pages74–75, https://link.springer.com/article/10.1557/S0883769400045176

[5] Abadía, L., Maristany, A., Rivoira, A., 2017, “Interacción de parámetros térmicos, acústicos y lumínicos en el diseño de la envolvente Arquitectónica,” Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura, Universidad Nacional de Córdoba, Provincia de Córdoba, Argentina.

[6] Nash, W. A., 1969, Teoría y problemas de resistencia de materiales, McGraw-Hill, Colombia.

[7] Feodosiev, V. I., 1980, Resistencia de materiales, Editorial MIR, Moscú.

[8] Pytel, A. y Singer, F.L., 1994, Resistencia de materiales, HARLA, México.

[9] Raghuwanshi, N. K., 2022, “Stiffness and Modal Parameter Analysis of Cracked Rotor Used in Electric Motor,” International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research, pp. 124-128.

[10] Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad e higiene, 1999, “NOM-001-STPS-1999,".

[11] Que establece dentro de la República Mexicana los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros, su método de medición, así como los requerimientos para dar cumplimiento a dichos límites, 2001, “NOM-036-SCT3-2000,”.

[12] Mechanical vibration, Rotor balancing, Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour, 2016, “ISO 21940-11:2016,”.

[13] Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición, 1994, “NOM-081-ECOL-1994,”.

10. Terminología.

Condición higrotérmica; son las determinadas por la temperatura, humedad, velocidad del aire y radiación térmica.

11. Infraestructura.

No es necesario.

12. Asesoría complementaria.

No es necesario.

13. Publicación o difusión de los resultados.

No aplica.