

# Banco de laboratorio para análisis de vibraciones mecánicas reconfigurable

## Laboratory bench for reconfigurable mechanical vibration analysis

Ana Rocío Córdoba Malaver<sup>1</sup> y Juan Daniel Porras Suárez<sup>2</sup>

Fundación Universitaria de San Gil - Unisangil, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
Ingeniería de Mantenimiento  
San Gil, Colombia

anacordoba@unisangil.edu.co  
juanporras1@unisangil.edu.co

Fecha de recepción: 01 de febrero de 2022  
Fecha de aceptación: 29 de abril de 2022

**Resumen** — Uno de los valores agregados que poseen las instituciones de educación superior es la inclusión, en las temáticas de los cursos impartidos, de métodos, herramientas y formas de aplicar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en el transcurso de sus estudios, de modo que ellos complementen su educación y conozcan la importancia de lo visto en la carrera profesional. Para ello, se implementan prácticas de laboratorio en donde se pone a prueba la capacidad del estudiante para aplicar los contenidos de los cursos en la vida real; haciéndose necesaria la creación y adquisición de herramientas y medios de trabajo con las cuales los estudiantes puedan llevar a cabo dichas prácticas. El presente trabajo hace referencia a la creación de un banco de laboratorio para análisis de vibraciones mecánicas con fines educativos, que sirva como herramienta para el afianzamiento de conocimientos de diversos cursos impartidos en la ingeniería y, a su vez, se le dé continuidad, por parte de otros proyectos de grado, con nuevas propuestas, usos y utilidades, con el fin de que los estudiantes adquieran habilidades y competencias que les sirvan para la ingeniería en la vida cotidiana. El banco de laboratorio comprende dos sistemas de transmisión modificables para la inducción de fallas o vibraciones en los sistemas de transmisión, permitiendo al estudiante la generación e identificación de cada tipo de vibración presente en el sistema, encontrando el motivo por el cual las máquinas presentan fallas referentes a desbalanceo, desalineación y desplazamiento; de forma que llevado esto a la industria, se pueda implementar un plan de gestión y mantenibilidad para la vida útil de los equipos, y la productividad y mejoras de la empresa.

**Palabras clave** — Análisis de vibraciones, banco de laboratorio, vibraciones mecánicas.

**Abstract** — One of the added values that higher education institutions possess is the inclusion in the topics of the courses taught, of methods, tools and ways of applying the knowledge acquired by the students during their studies, so that they complement their knowledge. Education and know the importance of what is seen in the professional career. For this, laboratory practices are implemented where the student's ability to apply the contents of the courses in real life is tested; the creation and acquisition of tools and means of work with which students can carry out such practices.

The present work refers to the creation of a laboratory bench for mechanical vibration analysis for educational purposes, which serves as a tool for the consolidation of knowledge of various courses taught in engineering. The laboratory bench comprises two modifiable transmission systems for the induction of faults or vibrations in the transmission systems, allowing the student to identify each type of vibration present in the system.

**Keywords**— Vibration analysis, laboratory bench, mechanical vibrations.

<sup>1</sup> Ingeniero de Mantenimiento, Unisangil. Docente investigador Grupo de Innovación y Desarrollo Tecnológico de Unisangil, Identus.

<sup>2</sup> Ingeniero de Mantenimiento, Unisangil.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso de bancos de laboratorios para la realización de prácticas educativas favorece el aprendizaje de los estudiantes al aplicar sus conocimientos teóricos en sistemas mecánicos reales, siendo esto un puente entre la academia, el estudiante y la industria. Es por ello que en el estudio de las vibraciones, en sistemas mecánicos, se hace necesario realizar trabajos de campo en donde se interactúe con mecanismos presentes en líneas de producción y realizar la identificación y análisis del comportamiento o respuesta del sistema en movimiento.

Siendo la respuesta de un sistema, el movimiento que se genera por fuerzas propias o inherentes de él y por las fuerzas recuperadoras propias del sistema que tienden a llevar el objeto a la posición de equilibrio. La respuesta puede clasificarse según el instante en que actúa la excitación en: vibración libre o vibración forzada.

### A. Sistemas de transmisión de movimiento

Los sistemas de transmisión de movimiento o las máquinas desde el punto de vista vibratorio suelen estar compuestos por modelos que involucran elementos como acoples, cadenas, chumaceras, ejes, engranajes, motores, motorreductores, poleas, tornillos de potencia, volantes y otros. Cada uno de estos componentes al entrar en movimiento generan una señal que, finalmente, sumadas compondrán la señal de vibración del sistema en general.

Los sistemas comúnmente usados son aquellos compuestos por un motor como generador del movimiento al cual irá acoplado un sistema de transmisión, ya sea de poleas (a), de engranajes (b), de eje anclado en chumaceras (c) o tornillo de potencia en contacto con un engranaje (d); como se observa en la Figura 1. Cada una de las formas para transmitir movimiento tienen características particulares definidas por sus componentes o elementos que los constituyen y, por ende, el estudio de las señales vibratorias que generan es diferente en cada caso.

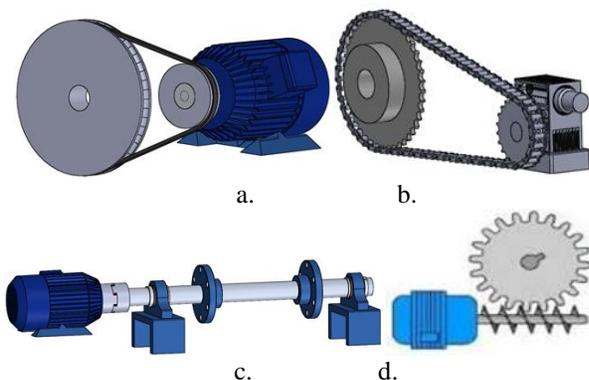


Fig. 1 Sistemas de transmisión de movimiento mecánico.

### B. Vibraciones mecánicas

La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio. Por lo general, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como desequilibrio de elementos rotativos; desalineación en acoplamientos; engranajes desgastados o dañados; rodamientos deteriorados; fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, y problemas eléctricos [1]. Una señal de vibración está compuesta por la suma de varias señales sinusoidales. Y, de acuerdo con el comportamiento de la señal de vibración puede clasificarse en periódicas o no periódicas; es esta una de las características más importantes para la interpretación de la información o análisis de la señal.

El fenómeno vibratorio consta de varios elementos: El sistema mecánico, cuyos elementos están relacionados e interconectados con el fin de cumplir una función específica, del que se obtiene información referente a: inercia, rigidez, amortiguación y grado de libertad (información con la cual se logra realizar el estudio del comportamiento vibratorio del sistema). La excitación del sistema, que hace referencia a una acción externa al movimiento del sistema que produce vibración y se encuentra representada en una fuerza variable. Y, finalmente, la respuesta del sistema antes definida [2].

Es importante destacar que para realizar un análisis de vibraciones se requiere tener en cuenta las siguientes características de toda señal: amplitud, frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy* (energía de impulsos) y fase. Así mismo, en la Figura 2 se identifican los elementos de una onda sinusoidal (es la base de toda señal de vibración):  $T$  = período,  $f$  = frecuencia fundamental,  $V_p$  = valor pico o máximo o de cresta,  $V_{pp}$  = valor pico a pico,  $V_m$  = valor medio o promedio,  $V_{offset}$  = desnivel,  $V_{rms}$  = valor eficaz o cuadrático medio [3].

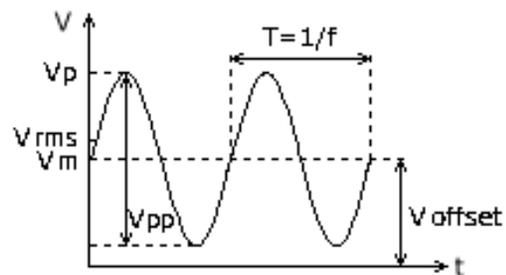


Fig. 2 Elementos de una onda sinusoidal.

Para una descripción detallada de señales vibratorias, el comportamiento de una máquina en condición de servicio, es representada principalmente de dos formas: en el dominio del tiempo (señales cargadas de mucha información compleja, la cual comprende las señales características de cada componente de la máquina, lo que hace difícil conocer su comportamiento) [4]; y en el dominio de la frecuencia

(señal representada por las frecuencias presentes en la señal de vibración, también llamado espectro) [5].

C. Espectro de señal vibratoria

“El análisis frecuencial o espectral es la técnica más comúnmente empleada para el diagnóstico de fallas” [6], en el que la señal vibratoria se ve plasmada en un gráfico llamado espectro que contiene la información más relevante de una señal como lo es la frecuencia, la magnitud y la fase. Al encontrar la relación existente entre la frecuencia de las componentes discretas presentes en el espectro y la frecuencia de las fuerzas dinámicas que generan las vibraciones, se logran identificar, de forma rápida y sencilla, las fallas típicas de un sistema.

Como se observa en la Figura 3, un espectro se compone de la frecuencia fundamental de la señal identificada como X1 y los armónicos presentes en ella X2, X3, etc. Cada armónico representa la frecuencia de una señal sinusoidal presente en la señal por analizar y su magnitud o intensidad.

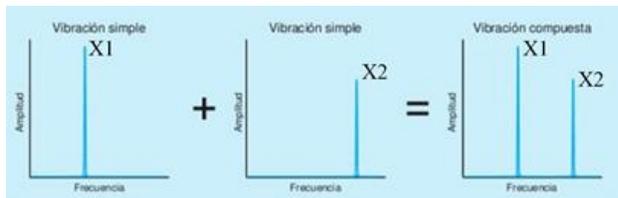


Fig. 3 Espectro de señal vibratoria.

D. Severidad de la vibración

Para saber el nivel permitido de vibración en una máquina, se debe identificar el tipo de máquina a analizar y a qué clase pertenece de acuerdo con la Norma por la cual se rige la máquina. En este caso, se va a trabajar con motores cuyas velocidades de operación no superan las 200 rev/s, de modo que el análisis de la vibración se basará en la reglamentación plasmada en la Norma ISO 2372 “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación de 10 a 200 rev/s - Base para especificar estándares de evaluación” [7].

Las características más relevantes o importantes de la Norma ISO 2372 son:

- Es aplicable a los equipos rotativos cuyo rango de velocidades de giro está entre 600 y 12.000 rpm (revoluciones por minuto).
- 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 1.000 Hz.
- Clasifica los equipos rotativos según su consumo de potencia (ver Tabla 1).

TABLA 1. CLASE DE EQUIPOS ROTATIVOS

Clase	Descripción
Clase I	Equipos pequeños hasta 15 kw.
Clase II	Equipos medios, de 15 a 75 kw o hasta 300 kw con cimentación especial.
Clase III	Equipos grandes, por encima de 75 kw con cimentación rígida 0 de 300 kw con cimentación especial.
Clase IV	Turbomaquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica).

Donde los criterios de evaluación son analizados de acuerdo con la Figura 4. Cada color en la matriz de clasificación significa:

- A = Magnitud de la vibración “Buena”: El rango es bueno, peligro mínimo de falla.
- B = Magnitud de la vibración “Satisfactoria”: La máquina se encuentran en los límites normales.
- C = Magnitud de la vibración “insatisfactoria”: La vibración se encuentran en los límites recomendados.
- D = Magnitud de la vibración “inaceptable”: La posibilidad de falla es alta y se debe someter a revisión inmediata.

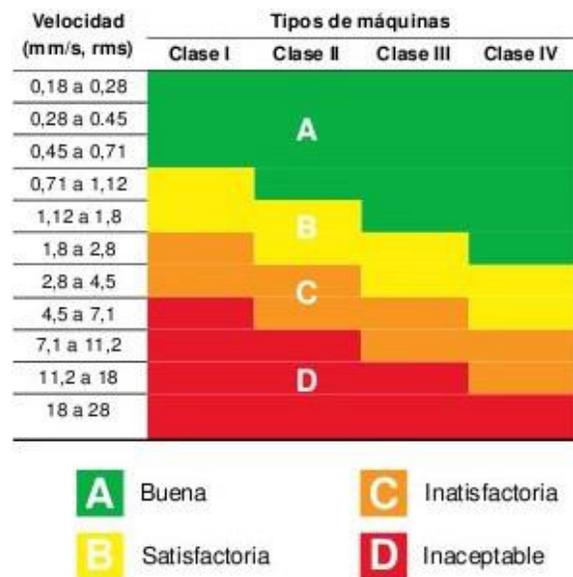


Fig. 4 Severidad y tipos de máquinas Norma ISO 2372.

E. Espectros característicos de fallas

Las fallas en un sistema de transmisión mecánico poseen características en sus espectros que permiten identificar el tipo de falla presente en el sistema. Las características de los espectros de interés en este trabajo son [8]:

1. Espectro de desbalanceo:  
El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a X1 rps (revoluciones por segundo) del rotor.

2. Espectro de desalineamiento paralelo:  
El espectro presenta altas vibraciones radiales a X2 rps predominante, y a X1 rps, con desfase de 180 grados a través del acople. Cuando la severidad es muy elevada, genera picos en armónicos superiores (X4, X8).
3. Espectro de desplazamiento:  
El espectro presenta vibración a X1 rps en la base de la máquina con desfase a 180 grados entre los elementos sujetos en el anclaje. Altamente direccional en la dirección de la sujeción.
4. Espectro de distensión en bandas:  
Las frecuencias de bandas siempre están por debajo de la frecuencia del motor o máquina conducida. Normalmente en el espectro se encuentran cuatro picos y, por lo general, predomina el de X2 frecuencia de banda. Tienen amplitudes inestables.
5. Espectro de desalineación en poleas:  
El espectro presenta alta vibración axial a X1 rps de la conductora o la conducida, por lo general la conducida. La buena medida de las amplitudes de las vibraciones depende de donde sean tomados los datos.

## II. DISEÑO DEL BANCO DE VIBRACIONES

A partir de las nociones dadas en la sección anterior, se describe la conformación del banco de vibraciones mecánicas y las variaciones que pueden efectuarse a este, para el estudio de las señales que se generan al poner los sistemas en marcha y cómo identificar las diversas fallas presentes en cada sistema de transmisión de movimiento.

El banco de laboratorio consta de dos sistemas de transmisión. El primer sistema de transmisión es un sistema motor-eje. Un segundo sistema de transmisión está compuesto por dos subsistemas, uno de transmisión por poleas y el otro por engranajes. Incluyendo así, en el banco de pruebas, tres de los sistemas de transmisión más comúnmente empleados en la industria.

El diseño y montaje de los dos sistemas de transmisión se realiza de forma que pueda ser modificable la posición de algunos de los componentes o la inclusión de pesos en ellos, de modo que se logre inducir fallas en los sistemas de transmisión para luego identificarlos por medio de la adquisición y análisis de señales de vibración. Dichos sistemas estarían controlados por una caja de mando, en donde se encuentra el sistema de potencia y protecciones del banco tal y como se puede observar en la Figura 10.

### A. Sistema I

El Sistema I visualizado en la Figura 5, es un sistema de transmisión de movimiento de tipo motor-eje, el cual está compuesto por un motor de 0.75 Hp (a) montado en una base móvil (b) y desplazable por la acción de un tornillo de potencia (c), un cople (d), un eje (e), dos volantes (f) y dos chumaceras (g). El sistema fue diseñado para generar fallas mecánicas como desbalance, desalineamiento y desplazamiento.

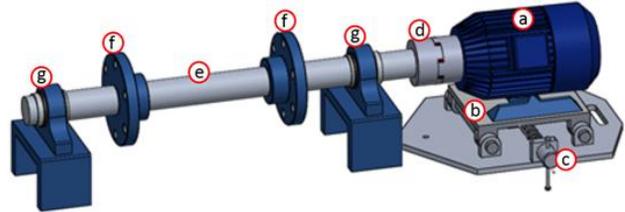


Fig. 5 Diseño del sistema de transmisión I.

Se opta por implementar un juego de volantes con masas intercambiables para modificar el centro de gravedad de los mismos, lo cual genera una fuerza o torque mayor en el lugar donde se ubiquen las masas. En cuanto a desalineamiento, se cuenta con un motor cuya base se desplaza horizontalmente respecto al eje de transmisión, y para el desplazamiento se diseñó un sistema de sujeción por juego de tornillos y la introducción de arandelas bajo los pies, ya sea del motor o de alguna chumacera.

Se identifican los puntos donde se logran medir y definir los tipos de fallas existentes en el sistema. Como se observa en la Figura 6, los círculos rojos enumerados representan las posiciones del sensor para la identificación de: 1. Desbalanceo, 2. Desalineamiento, 3. Desplazamiento.

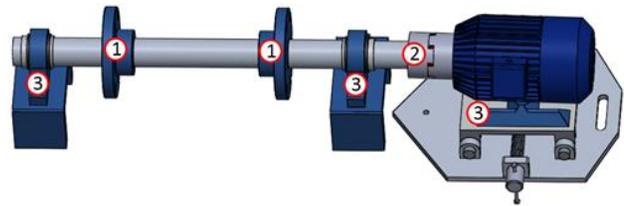


Fig. 6 Punto para identificación de fallos en el Sistema I.

### B. Sistema II

El segundo sistema como se observa en la Figura 7, está compuesto por un motor de 0.75 Hp (h) montado sobre una base móvil (i) que se desplaza por acción de un tornillo de potencia (j), dos poleas con su respectiva banda (k), un motorreductor (l), dos engranajes o piñones con su respectiva cadena (m) y un eje (n) anclado a dos chumaceras (o).

El sistema fue pensado con el fin de generar en él fallas de desalineamiento entre poleas, desalineamiento entre engranajes, distensión de bandas, paso de dientes, juegos de relación entre poleas y piñones. Para la generación de desalineamiento, entre los diferentes componentes, se ideó un sistema de fácil corrimiento e intercambio de piezas; para la distensión en bandas se pensó en una base con desplazamiento horizontal y, por último, el paso de dientes será analizado con el desplazamiento horizontal del motorreductor provocando una leve distensión en la cadena del sistema.

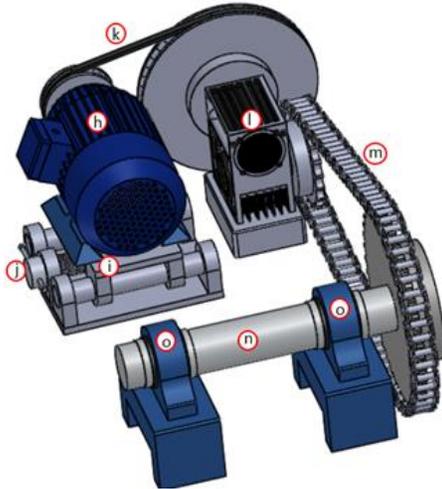


Fig. 7 Diseño de sistema de transmisión II.

Sobre este sistema se identifican las posiciones en las cuales se logran identificar los diversos tipos de fallas según se desee o se hayan generado. En la Figura 8 se presentan con puntos rojos enumerados el lugar en donde se debe ubicar el sensor para identificar las señales de vibración de acuerdo a cada falla. Donde cada número en la Figura 8 indica: 4. Juego de relación de transmisión de movimiento, 5. Desalineamiento entre poleas, 6. Distensión de bandas, 7. Desalineamiento entre piñones, 8. Paso de dientes.

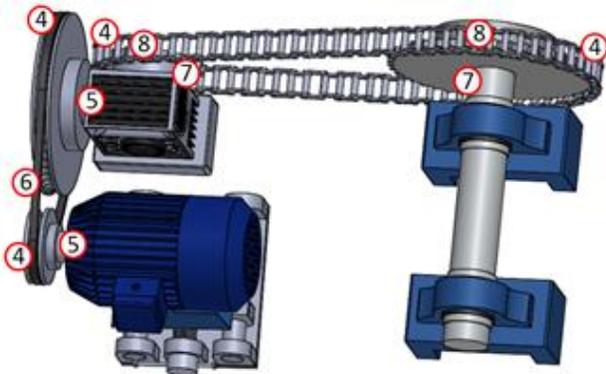


Fig. 8 Puntos para identificación de fallos en el Sistema II.

### C. Caja de control

La caja de control fue diseñada de modo que se tenga control independiente de cada sistema, permitiendo modificar la velocidad de rotación de los motores y el sentido de giro de los mismos. A su vez, cuenta con una parada de emergencia y las protecciones eléctricas necesarias para el cuidado de los sistemas y los usuarios (Ver Figura 9).

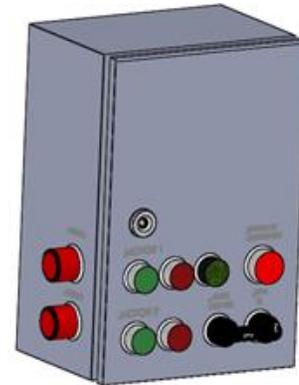


Fig. 9 Caja de control.

### D. Banco de laboratorio

El banco o mesa de laboratorio, por lo tanto, está compuesto, como se muestra en la Figura 10, por los sistemas de transmisión antes mencionados, una caja de control o mando y una mesa o banco sobre el cual van soportados todos los componentes.

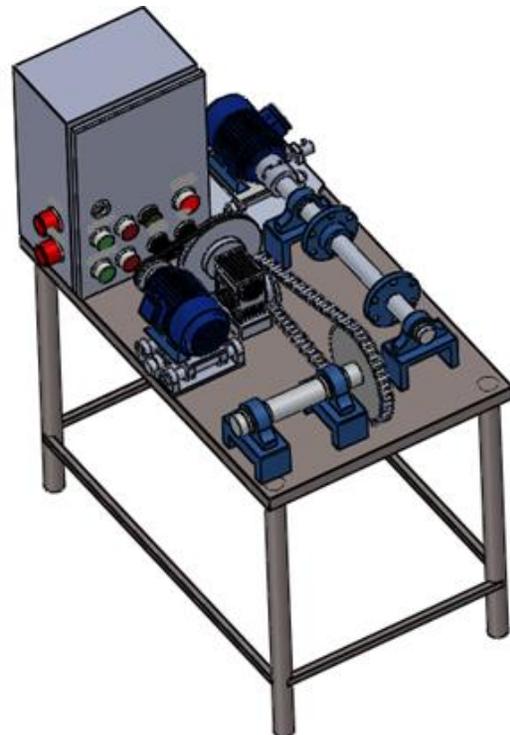


Fig. 10 Diseño general del banco de pruebas.

Con base en el diseño y el tipo de fallas que se pretenden analizar en el banco de vibraciones mecánicas, se diseñó un sistema de adquisición de señales de vibración que complementa el desarrollo del proyecto.

### E. Sistemas de adquisición de señales de vibración

Con el fin de complementar y verificar el funcionamiento del banco de vibraciones se diseñó un sistema de adquisición de señales de vibración capaz de identificar los diversos tipos de falla en el sistema por medio de un sensor (acelerómetro) ubicado en los puntos de identificación de fallas en cada sistema (ver figuras 6 y 8).

El sistema de adquisición se encuentra conformado por un acelerómetro ADXL001-70BEZ, una tarjeta de adquisición de datos EVAL-CN0303\_SDPZ y una tarjeta controladora EVAL-SDP-CB1Z (ver Figura 11); los cuales van conectados entre sí a una computadora y, con ayuda de una interfaz gráfica diseñada en LabView, se logra hacer la identificación de la severidad de la falla y el tipo de falla presente en el sistema [7].

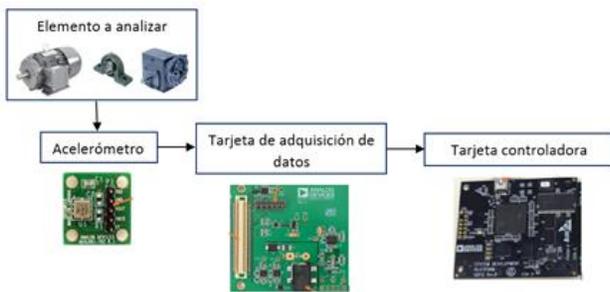


Fig. 11 Sistema de adquisición de señales vibratorias.

La conformación del sistema de adquisición de señales de vibración se presenta más a fondo en el trabajo realizado por Porras J. y Córdoba A. [9] y [10] así como el aplicativo diseñado en LabView para este fin (Ver Figura 12).



Fig. 12 Interfaz gráfica para análisis de vibraciones.

### III. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE VIBRACIONES

De acuerdo con el diseño realizado se construye el banco de laboratorio en la sala de prototipos de Unisangil, con cada uno de los sistemas que componen el diseño del banco, sin olvidar su aspecto de reconfigurabilidad. La Figura 13 muestra la construcción del Sistema I (transmisión motor-eje) en el cual, el elemento clave en la generación de fallas en el sistema es el conjunto: base de motor - tornillo de potencia.



Fig. 13 Sistema de transmisión I.

En la Figura 14 se observa la construcción del Sistema II, en donde se visualizan los dos subsistemas que lo componen (transmisión por poleas y transmisión por piñones).

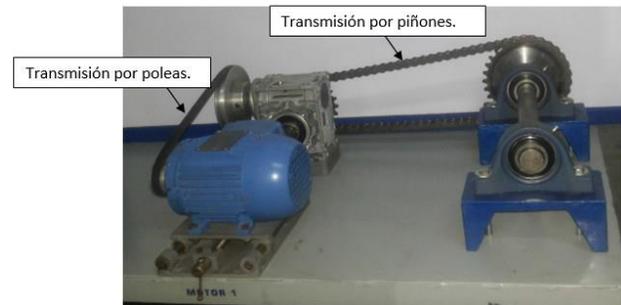


Fig. 14 Sistema de transmisión II.

Así mismo, se construyó la caja de control (Ver Figura 15) bajo la reglamentación eléctrica existente para esta clase de sistemas eléctricos en Colombia (NTC 2050). La caja de control comprende: tres *breaker* CHN3 para la protección eléctrica del banco en general, dos contactores CHINT NC1-0910 usados, tanto para el arranque y parada de motores eléctricos como interruptor de líneas, dos relés térmicos CHINT NR2-25 con el fin de proteger cada motor en caso de corto circuito o sobresalto en la línea y un variador de velocidad CFW10. En su parte externa comprende: un par de clavijas de seguridad CETAC, un sistema de botoneras, un interruptor selector, una parada de emergencia y seis contactores CHNT NC1-0910.



Fig. 15 Caja de control.

Una vez construido el banco de pruebas se ponen en funcionamiento cada uno de los sistemas con el fin de comprobar el adecuado montaje de los mismos y el buen funcionamiento de los componentes electrónicos y eléctricos que lo constituyen, así como la parada de emergencia. También se definen las precauciones que se deben tener y se verifica si la programación del variador de velocidad fue la adecuada (ver Figura 16).



Fig. 16 Banco de pruebas.

#### IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se fijan los puntos de medición como se indica en las figuras 17 y 18, se realiza el análisis de vibración adquiriendo las señales de cada punto identificado en ellas y se ajustan los sistemas a la posición en la que no presenta ningún tipo de falla, quedando esta como posición de referencia para luego empezar a generar fallas controladas.

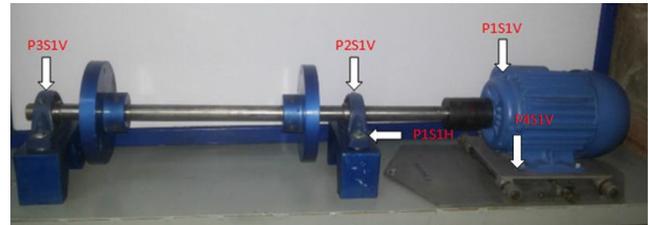


Fig. 17 Identificación de puntos de medición. Sistema I.



Fig. 18. Identificación de puntos de medición. Sistema II.

La nomenclatura empleada en cada punto representa:

P\_: Número de posición (1, 2, 3, 4)

S\_: Número de sistema (1, 2)

V/A/H: Dirección de la toma de señal (vertical, axial, horizontal)

Cada posición permite la identificación de un tipo de falla diferente, tal y como se indica en las tablas 1 y 2, para cada uno de los sistemas de transmisión propuestos.

TABLA 1. TIPO DE FALLA Y PUNTOS DE MEDICIÓN PARA SISTEMA I

Tipo de falla	Punto de medición
Estado normal	P1S1V, P2S1V, P3S1V, P1S1A, P4S1V, P1S1H, P2S1H
Desequilibrio másico	P2S1H, P3S1H
Desalineamiento	P1S1V, P2S1V, P1S1A
Desplazamiento	P4S1V
Todas la fallas	P1S1V, P2S1V, P3S1V, P1S1A, P4S1V, P1S1H, P2S1H

TABLA 2. TIPO DE FALLA Y PUNTOS DE MEDICIÓN PARA SISTEMA II

Tipo de falla	Punto de medición
Estado normal	P1S2V, P2S2V, P3S2V, P4S2V
Paso de dientes	P2S2V, P3S2V
Desalineamiento	P3S2V, P4S2V
Distensión en bandas	P1S2V, P2S2V
Todas la fallas	P1S2V, P2S2V, P3S2V, P4S2V

A. Posicionamiento de referencia para elementos del banco de pruebas

Se sitúan los elementos que componen cada uno de los sistemas del banco de pruebas y se realiza el análisis de las señales de vibración. Las señales obtenidas de la posición de referencia en el Sistema I y analizadas en el aplicativo LabView descrito por Porras J. y Córdoba A. [9] se muestran en las figuras 19, 20, 21 y 22. Siendo estas, señales de referencia para la simulación de fallas en el sistema.

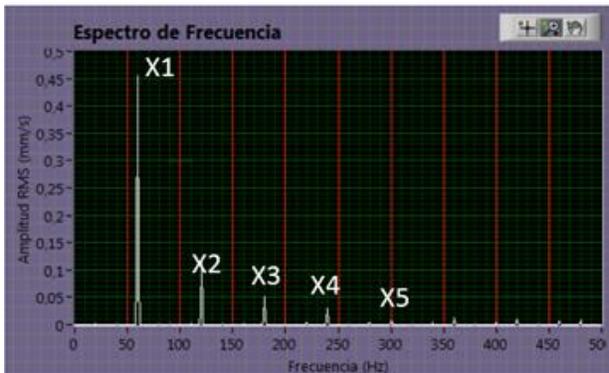


Fig. 19. Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P1S1V.

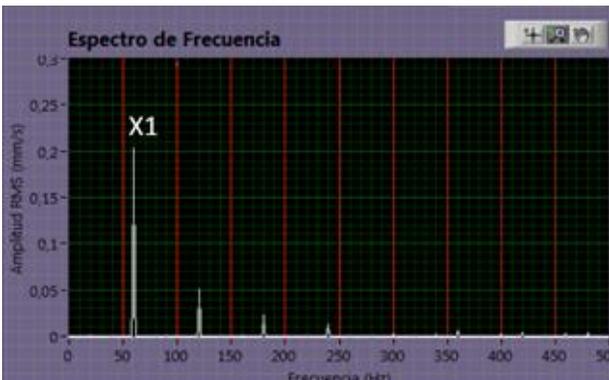


Fig. 20 Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P2S1V.

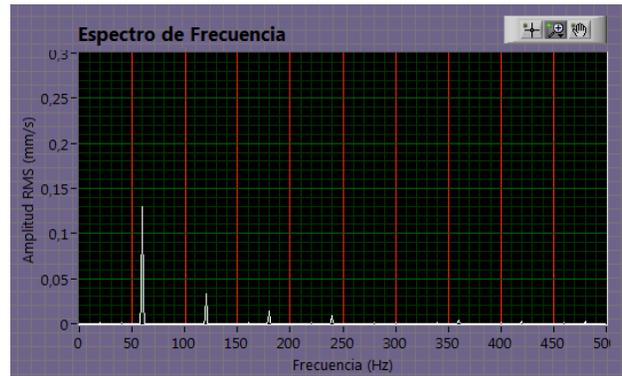


Fig. 21 Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P3S1V.

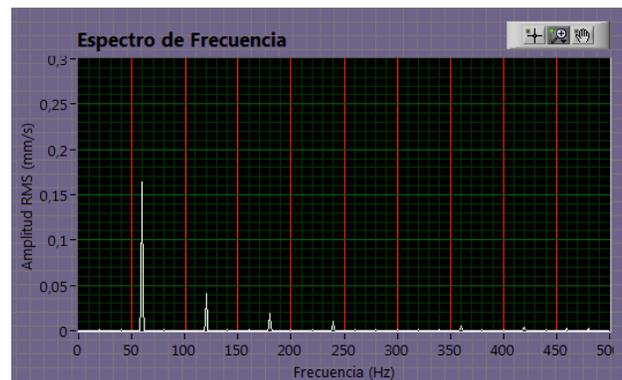


Fig. 22 Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P1S1A.

En cada una de las imágenes anteriores (figuras 19, 20, 21 y 22) se observa el espectro de las señales obtenidas identificándose en ellas la frecuencia fundamental X1 equivalente a 60Hz y su amplitud de onda; esta frecuencia corresponde a la velocidad de giro del motor en ese instante. Así mismo, se encuentran en ella los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental (X2, X3, X4, X5...).

Las señales obtenidas de la posición de referencia en el Sistema II, y analizadas en la interfaz de LabView, se muestran en las figuras 23, 24, 25 y 26. Siendo estas señales de referencia para la simulación de fallas en el sistema. Al igual que los espectros obtenidos del Sistema I, los espectros del Sistema II muestran los picos de la frecuencia fundamental (X1) ubicada en 60Hz y sus demás armónicos presentes por los demás elementos rotatorios.

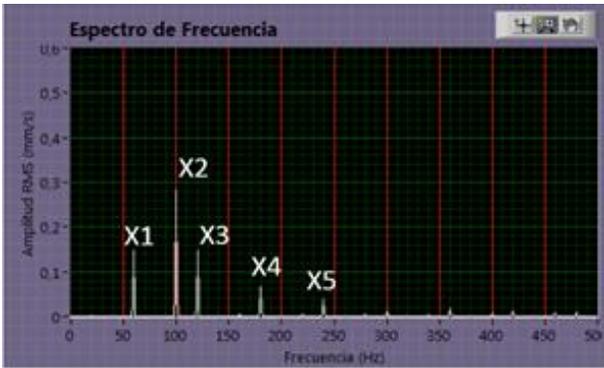


Fig. 23 Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P1S2V.

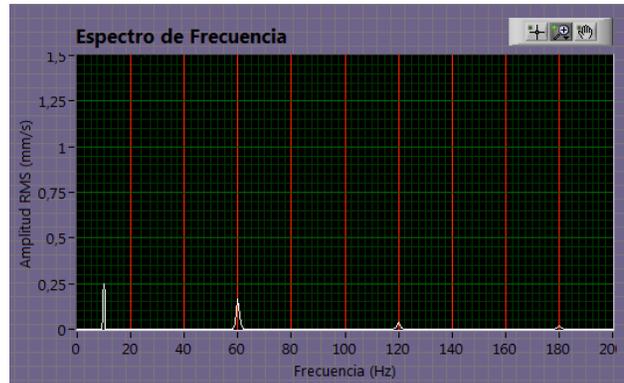


Fig. 26 Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P4S2V.

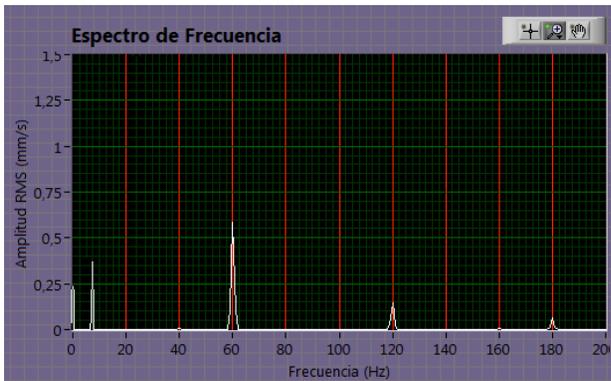


Fig. 24 Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P2S2V.

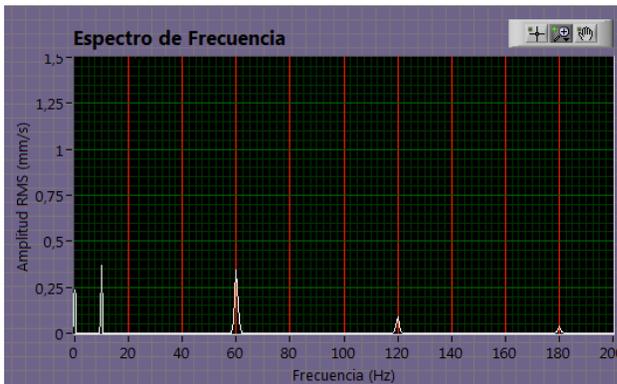


Fig. 25 Señal de vibración del banco en óptimas condiciones vibratorias en el punto P3S2V.

Como se observa en cada una de las anteriores figuras, correspondientes a las señales vibratorias tratadas en la interfaz, de los puntos seleccionados del banco para análisis de vibraciones, ninguno de los espectros posee magnitud superior a los límites permitidos de vibración de acuerdo con la Norma ISO 2372, es decir, no sobrepasan los 0.65mm/s de amplitud. Por lo tanto, se considera esta configuración, como posición de referencia para la generación de fallas en los sistemas de transmisión.

#### B. Reconfiguración del banco para generación de fallas

Teniendo como referencia la posición anterior de los elementos del banco de vibraciones, se realizan movimientos de algunos elementos para la generación de fallas en cada sistema. Para cada prueba realizada se ponen en funcionamiento los motores a 60Hz. Así mismo, las señales de vibración han sido tratadas (filtradas) en la interfaz para eliminar gran parte del ruido presente en las señales originales.

A continuación, se muestra en la Figura 27 la señal característica de un desequilibrio másico generado en el banco de pruebas por la acción de dos masas desbalanceadoras ubicadas en los volantes del Sistema I, el espectro correspondiente es tomado en los puntos de medición P2S1V-P3S1V. En la Figura se muestra la señal esperada para un desequilibrio con un pico pronunciado a 60 Hz que es la velocidad de giro del motor seleccionada equivalente al X1 con magnitud de 3.3 mm/s el cual, es el pico característico del tipo de falla y sobrepasa los límites de vibración satisfactoria.

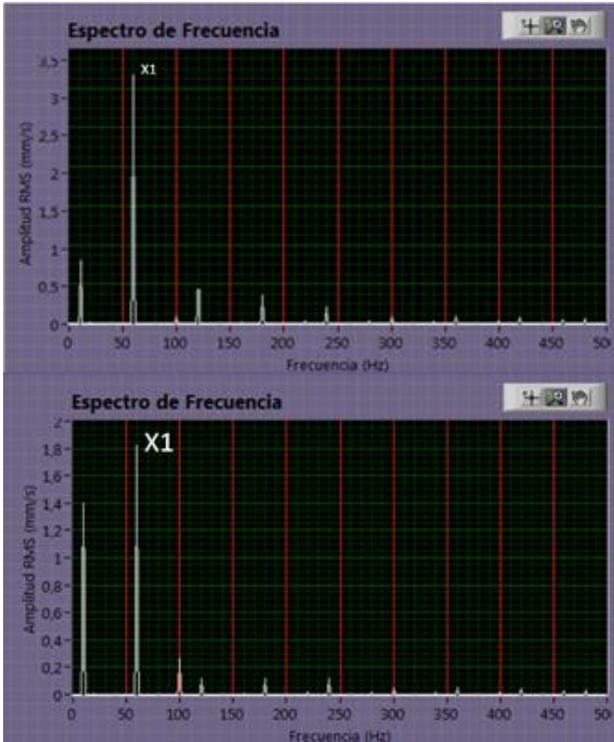


Fig. 27 Señal de vibración del banco con desequilibrio másico en el punto P2S1V-P3S1V.

El la Figura 28 se presenta la señal característica de un desalineamiento paralelo inducido en el banco de pruebas por la acción de dos arandelas ubicadas bajo las chumaceras que soportan el eje, el espectro correspondiente es tomado en el puntos de medición (P1S1V-P2S1V).

Se puede observar que la magnitud de las señales supera el límite de una señal vibratoria en buen estado, además, se visualizan los picos X1, X2, X3 característicos de este tipo de falla, siendo el mayor correspondiente a la frecuencia de rotación del motor de 60Hz.

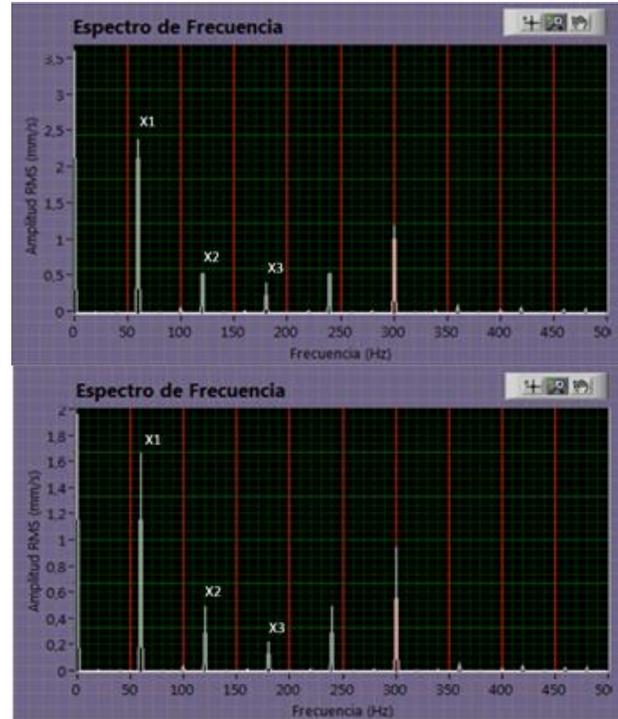


Fig. 28 Señal de vibración del banco con desalineamiento paralelo en el punto P1S1V-P2S1V.

A continuación se muestra la señal característica de un desalineamiento angular ejercido en el banco de pruebas por la acción de dos arandelas ubicadas bajo la chumacera, el espectro correspondiente es tomado en el punto de medición P1S1A. En la Figura 29 se observa que la magnitud de la señal es de 3.1mm/s, lo cual indica que es una señal de vibración insatisfactoria, dicho pico corresponde al X1 Axial, el cual es el pico característico de este tipo de falla.

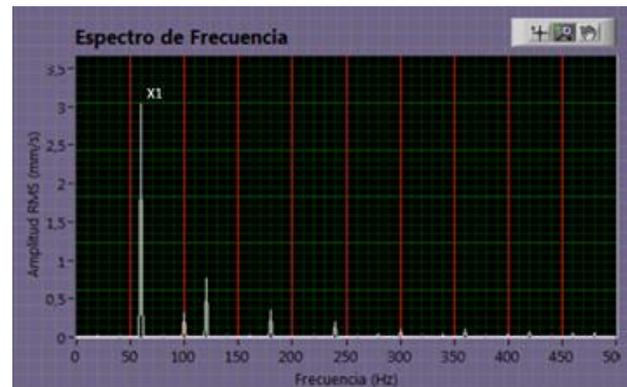


Fig. 29. Señal de vibración del banco con desalineamiento angular en el punto P1S1A.

Se genera un desplazamiento en el banco de pruebas por la acción del tornillo de potencia ubicado en la base-placa del motor, el cual fue girado para obtener cierto desplazamiento del motor con respecto al eje del sistema. El espectro correspondiente es tomado en el punto de medición P4S1V. La magnitud de la señal es de 3.5mm/s, lo cual indica que es

una señal de vibración insatisfactoria. Dicho pico corresponde al X1 Axial, lo cual es el pico característico de este tipo de falla (Ver Figura 30).

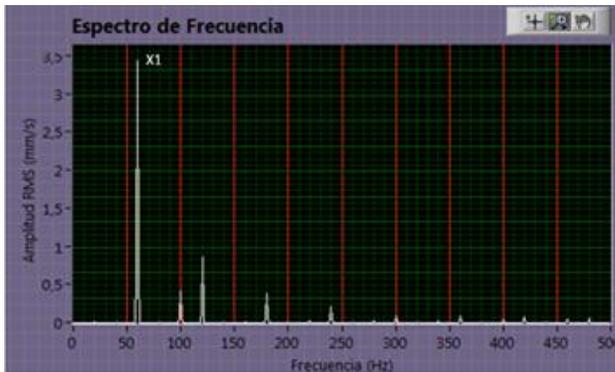


Fig. 30 Señal de vibración del banco con desplazamiento en el punto P4S1V.

Como última prueba para este Sistema I, se muestra la señal característica de todas las fallas ejercidas en el banco de pruebas por la acción de las masas desbalanceadoras, las arandelas y el tornillo de potencia. El espectro correspondiente, visualizado en la Figura 31, es tomado en los puntos de medición P1S1V. En el espectro las señales de interés a 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 Hz, equivale a: X1, X2, X3, X4, X5, X6 y X7 de la velocidad de giro del motor, con magnitudes en el plano de 3.3, 0.8, 2.1, 0.3, 0.9, 0.1, 2.5 mm/s. Las cuales superan los valores permitidos por señales de vibración en esta clase de sistemas mecánicos.

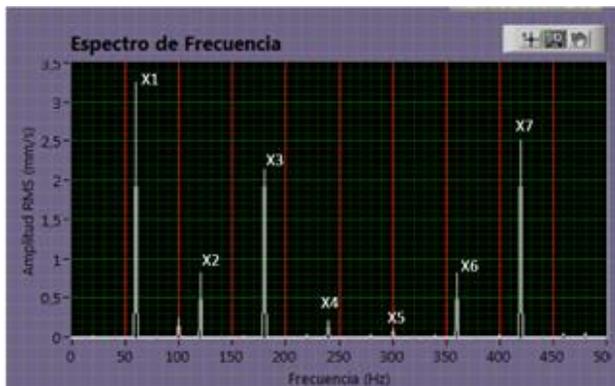


Fig. 31 Señal de vibración del banco con todas las fallas en el punto P1S1V.

Así mismo, se realizaron pruebas para la generación de fallas en el Sistema II. Para generar el paso de dientes, se decidió hacer un corrimiento en el motorreductor, de forma que se dejara un poco suelta la cadena para la transmisión. Hay que resaltar que para saber qué frecuencias deben aparecer en las gráficas de las señales, se debe hallar la frecuencia de cada uno de los piñones, pues estos generarán picos diferentes a la frecuencia fundamental del motor, ya que con ellos se está cambiando la relación de velocidad del Sistema.

En la Figura 32 se observa la presencia de frecuencias diferentes con sus respectivos armónicos, están: la frecuencia fundamental de 60Hz con 3 de sus armónicos, es decir, el 1X, 2X, 4X. Sin embargo, también se observa la frecuencia del engranaje que es cercana a los 20 Hz y su armónico a los 160 Hz, que superan en aproximadamente 4 veces la magnitud de la frecuencia fundamental del motor. Aspecto que indica la soltura de la cadena y, a su vez, falla en paso de dientes por la restricción al giro de los piñones que esto genera.

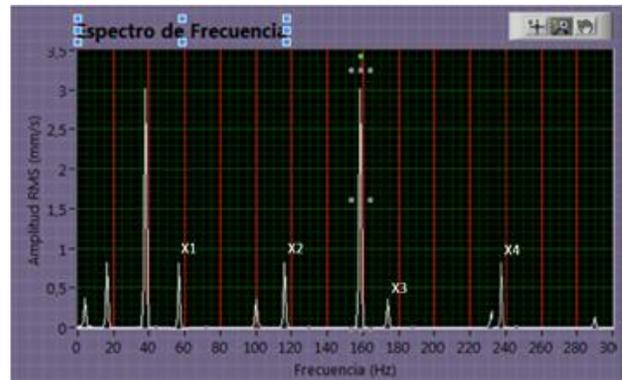


Fig. 32 Señal de vibración del banco con paso de dientes en el punto P2S2V.

En la Figura 33 se muestra la señal característica de un desalineamiento entre poleas ejercido en el banco de pruebas por el corrimiento de una de las poleas respecto a otra en sentido horizontal, el espectro correspondiente es tomado en los puntos de medición P3S2V - P4S2V. En donde la imagen presenta un pico de gran magnitud en la frecuencia de rotación de la polea secundaria a aproximadamente 17Hz y su respectivo armónico representativo en X14, cuyas magnitudes sobrepasan a la frecuencia fundamental del motor (60Hz) en 12 veces. Lo que corresponde a un fallo de este tipo.

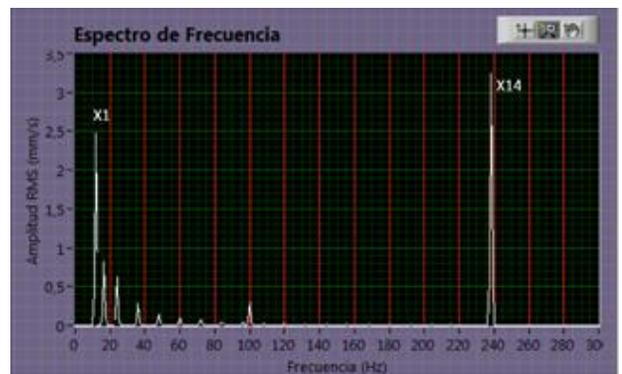


Fig. 33 Señal de vibración del banco con desalineamiento en el punto P3S2V.

Para generar la distensión en bandas se realizó un corrimiento a la base del motor de forma que la correa quedará un poco floja a la hora de transmitir el movimiento en el sistema. Este, debe ser un corrimiento leve, ya que si se

desplaza demasiado no se generará la transmisión deseada. En la Figura 34 se muestra el espectro característico de un sistema con distensión de bandas, presentando un pico de gran magnitud en la frecuencia fundamental de las bandas que es de 22.75Hz y un pico significativo en el X6.

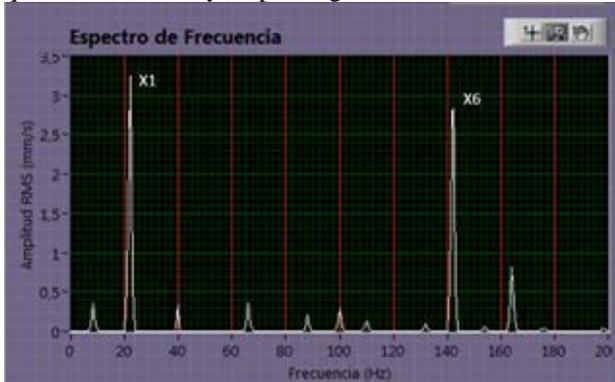


Fig. 34 Señal de vibración del banco con distensión en bandas en el punto P1S2V.

Finalmente, para este sistema, se generaron todas las anteriores fallas tratadas para visualizar el espectro de un sistema con múltiples fallas. Así como se muestra en la Figura 35.

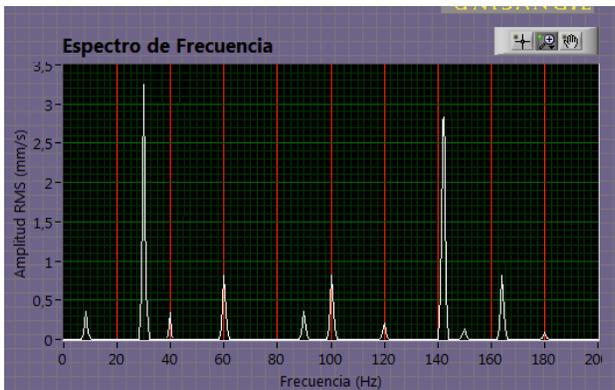


Fig. 35 Señal de vibración del banco con distensión en bandas en el punto P1S2V.

En esta figura se observan picos de grandes magnitudes en las diferentes frecuencias de cada uno de los elementos que componen este Sistema, sin embargo los picos más altos simbolizan o representan la frecuencia del elemento que posee mayor fallo. Así serían estos elementos los primeros en analizar y corregir sus defectos.

## V. CONCLUSIONES

Se logró construir un banco de laboratorio con tres sistemas de transmisión de movimiento presentes en la industria y se hizo entrega de este a Unisangil con el fin de que los estudiantes de ingeniería puedan realizar prácticas de laboratorio en él.

Los sistemas de transmisión de movimiento mecánico, presentes en el banco de laboratorio construido, permiten tener una posición de funcionamiento adecuada que sirve como referencia para la generación de fallas en él.

El banco de laboratorio puede ser reconfigurado con el fin de inducir fallas comunes en los sistemas de transmisión, las cuales puedan ser identificadas por los estudiantes haciendo uso de sistemas de adquisición de señal de vibración, para su posterior análisis.

Las fallas mecánicas que se pueden generar, de forma controlada en el banco de pruebas construido, son cinco: desalineamiento, desbalanceo, desplazamiento, distensión de bandas y paso de dientes.

## [1] REFERENCIAS

- [2] Lázaro, R. (2013). Análisis de vibración. *Revista Cero Grados*. [En línea]. Disponible en <https://www.0grados.com/analisis-de-vibracion/>.
- [3] Nieto, J. y Niño, A. (2013). Diseño y construcción de un banco de pruebas de vibraciones mecánicas que reproduzca tres fallas características: Desalineamiento, Desbalanceo y Paso de dientes. [Tesis ingeniero mecánico.] Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander-UIS, Facultad de Ingeniería Físico Mecánica.
- [4] Singiresu S., Rao. (2012). *Vibraciones mecánicas*, 5ta. ed., México: Pearson Educación.
- [5] Daza, G. (2007). Apuntes del Curso vibraciones mecánicas. España: Universidad Técnica Federico Santamaría. [En línea]. Disponible en: <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/Mantenimiento-Predictivo.pdf>
- [6] Gómez, M. (2012). Identificación de la frecuencia de los signos vitales mediante pulsos láser. [Tesis maestro en ciencias en ingeniería mecánica.] México D.F.: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- [7] Penkova, M. (2008). Análisis de señales vibratorias. *Ciencia y Sociedad* [en línea], XXXIII (enero-marzo). Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87011532002>
- [8] Organización Internacional de Normalización. Norma ISO 2372. (s.f.). [En línea]. Disponible en <https://www.iso.org/standard/7212.html>
- [9] Bernal, F. y Cortés, D. (2016). Simulación de un banco de pruebas para análisis de vibraciones. [Trabajo de grado], Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas [en línea]. Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6143/1/CalderonBernalFabioAndres2017.pdf>
- [10] Porras, J. y Córdoba, A. (2014). Diseño y Construcción de un banco didáctico de laboratorio para mediciones de vibraciones mecánicas. [Tesis ingeniero electrónico e ingeniero de mantenimiento.] San Gil: Fundación Universitaria de San Gil - Unisangil, Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías.
- [11] Acosta, A., Douglas, S. y Molina, J. (2011). Adquisición de vibraciones mecánicas de un motor en funcionamiento usando *labview*. [Trabajo de grado] Ecuador: FIEC [en línea]. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19459>