

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“RELACIÓN ENTRE LA AMPLITUD VIBRATORIA Y EL GRADO DE  
DESALINEAMIENTO DE UN EJE”**

Seminario de titulación presentado en conformidad a los requisitos para optar al Título de Ingeniero Ejecución Mecánico.

**PROFESOR GUÍA:**

**Sr. Claudio Nabil Villegas Ulloa.**

**NOMBRES DE LOS ESTUDIANTES:**

**Sr. Juan Francisco Hidalgo Sabag.  
Sr. Victor Hugo Carrera Díaz.**

**CONCEPCIÓN – CHILE**

**2014**

## **DEDICATORIAS**

### **Juan Hidalgo**

A mis padres Juan Cristóbal y Marisol por apoyarme e impulsarme en el nuevo desafío que fue esta carrera, que ha sido un gran esfuerzo para poder cumplir con cada uno de los requisitos para optar al título de Ingeniero Ejecución Mecánico.

### **Victor Carrera**

Este trabajo se lo dedico a toda mi inmensa familia. En especial a mi padre, madre y hermana.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Juan Hidalgo**

A mi tía Nany, por haberme abierto las puertas de su hogar, ya que me acogió como a un hijo, brindándome ese cariño tan elemental en este tiempo de estudio.

A mi compañero de estudio Víctor Carrera por estar siempre dispuesto a escucharme debatirme y enseñarme cuando no podía resolver algo.

A mi profesor guía Claudio Villegas, por haber puesto a disposición el tema de nuestro seminario, por haberme guiado y ayudado en este seminario de título.

Al director del programa don Juan Carlos Figueroa, por escuchar nuestras peticiones y siempre tener la voluntad de poder ayudar y solucionar algún tema planteado.

### **Victor Carrera**

Primero debo agradecer a Dios por darme la salud e inteligencia durante mis 29 años. Luego debo agradecer a todos mis tíos(as), abuelos, primos, amigos, compañeros de carrera con los cuales compartí gratos momentos durante los dos años y medio que duró la carrera.

También agradezco a mi profesor guía el Sr. Claudio Villegas, por la paciencia y dedicación que mantuvo durante el desarrollo de esta tesis.

Pero mis principales agradecimientos son para mi padre, mi madre y mi hermana. Ya que sin la ayuda de ellos nada de esto hubiera sido posible.

A todos ellos muchas gracias.

## RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo principal el estudio entre la amplitud vibratoria y el grado de desalineamiento de un eje rotatorio en el banco de ensayo SpectraQuest Magnum, perteneciente al laboratorio de mecánica de sólidos de la Universidad del Bío Bío.

Utilizando para este estudio un programa de adquisición de datos generado en LabVIEW, capaz de poder adquirir los distintos datos generados por el banco de ensayos.

Primero se analizó el comportamiento vibratorio del banco de ensayo en su condición inicial con el eje acoplado al motor, para obtener un espectro característico de la máquina, el cual utilizamos como espectro base. Luego se desalineó el equipo en forma angular y paralela midiendo los espectros vibratorios a distintas velocidades de rotación. Todo esto se realizó para verificar si existe una relación entre el desalineamiento y la amplitud de los espectros.

Para el análisis de las señales, se utilizó un programa analizador de vibraciones, desarrollado en LabVIEW, capaz de integrar la señal, obtener espectros mediante la FFT, mostrar formas de onda, generar filtros, medir valores RMS globales y de cada componente principal del desalineamiento. Con estas herramientas se estudiaron y analizaron los valores obtenidos, a objeto de generar información relevante con relación a la caracterización del equipo para su uso académico. Se concluye de esto que la amplitud de los valores RMS globales no solo dependen del grado de desalineamiento, sino que inciden distintos factores tales como zonas resonantes existentes y variaciones de rigidez del equipo a medida que aumenta el desalineamiento.

Y por último se realiza la medición de rigidez del acople en función de la rotación del eje, esta prueba se efectuó colocando una carga controlada y realizando una tabla del comportamiento de la rigidez del acople.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
1.1) Objetivo general	1
1.2) Objetivos específicos	1
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>CONCEPTOS BÁSICOS VIBRACIONALES</b>	<b>2</b>
2.1) Transformada de Fourier	2
2.2) Transformada Rápida de Fourier (FFT)	3
2.3) Problemas generados por la FFT	3
2.4) Filtros	4
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>NORMA ISO 2372 - VIBRACIONES MECÁNICAS DE MÁQUINAS</b>	<b>6</b>
3.1) Clasificación de la maquinaria	7
3.2) Rangos de severidad vibratoria para máquinas clase I hasta IV	8
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>TÉCNICAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS</b>	<b>9</b>
4.1) Estructura de adquisición de datos	9
4.2) Descripción de los equipos	10
4.3) Etapa de adquisición y procesamiento de datos	12
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>DESALINEAMIENTO EN EJES ROTATORIOS</b>	<b>14</b>
5.1) Importancia del alineamiento en ejes rotatorios	14

5.2) Tipos de desalineamiento	14
5.3) Causas de la desalineación	17
5.4) Consecuencias adversas de la desalineación	18

## **CAPÍTULO VI**

### **MEDICIONES REALIZADAS EN BANCO DE ENSAYOS Y DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA DESALINEAR**

19

6.1) Descripción de banco de ensayo SpectraQuest Magnum	19
6.2) Mediciones realizadas	19
6.3) Procedimiento para desalinear el equipo	21

## **CAPÍTULO VII**

### **MEDICIÓN DE FRECUENCIA NATURAL EN EL BANCO DE ENSAYO**

23

7.1) Procedimiento de medición de frecuencia natural	23
7.2) Gráficos comparativos de frecuencias naturales en el banco de ensayo	24

## **CAPÍTULO VIII**

### **ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS**

26

8.1) Procedimiento de obtención de valores RMS globales en los archivos medidos	26
8.2) Interpretación de gráficos de valores RMS globales por punto de medición	27
8.3) Problema en el espectro generado por fugas laterales	31
8.4) Procedimiento de obtención de valores RMS por componentes utilizando un filtro pasa banda digital en los archivos medidos	32
8.5) Interpretación de gráficos de valores RMS por componentes de cada punto de medición	33

<b>CAPÍTULO IX</b>	
<b>COMPROBACIÓN DE RIGIDEZ DEL ACOUPLE</b>	<b>40</b>
9.1) Procedimiento de comprobación de rigidez	40
9.2) Conclusiones de la comprobación de rigidez	41
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO A (Tabla de valores de frecuencia natural obtenidas en el punto de medición 3 y 4)</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO B (Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio)</b>	<b>47</b>

## **CAPÍTULO I**

### **1.1) Objetivo general**

El objetivo general es analizar la correlación que existe entre el grado de desalineamiento y la amplitud vibratoria captada en los descansos y el motor del banco de ensayo SpectraQuest Magnum.

### **1.2) Objetivos específicos:**

- Generar la programación en LabVIEW para adquirir las señales, este programa adquiere señales de dos acelerómetros simultáneamente.
- Utilizar la norma de severidad vibratoria.
- Desalinear controladamente el equipo para realizar mediciones de vibraciones.
- Procesar los datos para análisis.
- Generar programación LabVIEW para aplicar la FFT y poder así procesar los datos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.
- Utilizar filtros en procesamiento de señales para poder analizar de mejor manera los espectros generados en el desalineamiento del equipo y poder analizar el comportamiento de las componentes al 1x, 2x y 3x.
- Medir rigidez del acoplamiento mecánico en función de la rotación del eje del banco de ensayos.



## CAPÍTULO II

### CONCEPTOS BÁSICOS VIBRACIONALES

#### 2.1) Transformada de Fourier

Los datos obtenidos en las mediciones realizadas entregan información acerca del comportamiento de cada componente del banco de ensayo. Pero las señales capturadas vienen cargadas de mucha información en forma muy compleja (múltiples componentes, ruido de los sensores y otros), y por lo general es imposible distinguir a simple vista las diferentes componentes.

Es por ello que se desarrollaron nuevas formas para realizar un estudio de vibraciones, entre las cuales se encuentra mirar la señal en el dominio de las frecuencias. Esta es la gráfica de Amplitud vs Frecuencia y es conocida con el nombre de espectro, en la cual se tiene separadamente la frecuencia de cada componente y la amplitud que ésta produce. Esta es la herramienta más usada para el análisis de maquinaria.

Fue precisamente el matemático francés Jean Baptiste Fourier (1768 - 1830) quien encontró la forma de representar una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específicos.

En la figura 2.1 se muestra una señal en el dominio del tiempo y su correspondiente en el dominio de la frecuencia. Aquí se ilustran tres dimensiones claramente, la señal total (en color verde), capturada desde una máquina. A dicha señal se le calculan todas las

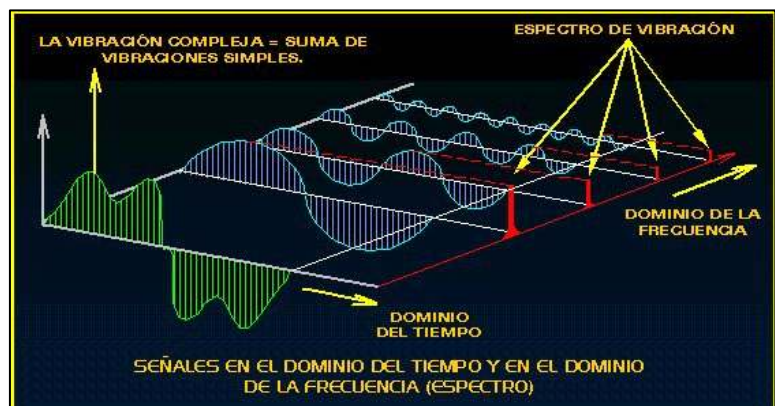


Figura 2.1: Señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

series de señales sinusoidales en el dominio del tiempo (vistas en azul) y por último se

muestra cada una en el dominio de la frecuencia (vistas en rojo). Y está dada por la ecuación siguiente:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

## 2.2) Transformada Rápida de Fourier (FFT)

En 1965, se presentó el algoritmo de la FFT, que permitió simplificar de forma importante el cálculo de la Transformada discreta de Fourier (TDF).

Ésta, además de reducir el tiempo de cálculo también reduce el error. La gran diferencia de este método está en el número de elementos que se emplean en el desarrollo, en el cálculo de la TDF, se requerían un número de cálculos de  $N \cdot N/2$  términos, mientras que en la FFT, se emplean solamente  $N \cdot \log N$ , lo que hace de este método significativamente más rápido.

## 2.3) Problemas generados por la FFT

**Aliasing:** Un problema que aparece a causa del muestreo discreto es el aliasing, vale decir, cuando una componente a alta frecuencia es confundida con una de baja a causa de que la frecuencia de muestreo (la velocidad con la que se adquieren puntos de la señal temporal) sea

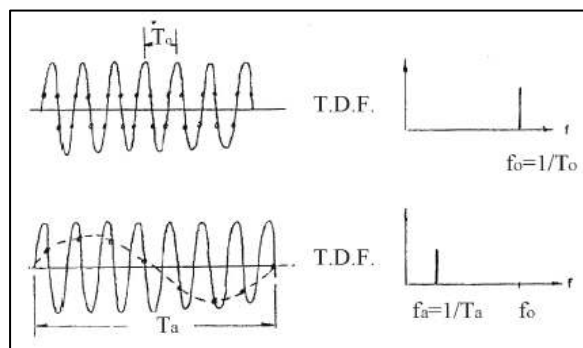


Figura 2.2: Gráfica representativa del fenómeno del aliasing.

muy baja. El efecto se muestra en la figura 2.2. En el caso superior hay suficientes puntos por cada periodo de la señal para que la transformada discreta de Fourier capte la componente real  $f_0$ . En el caso de la parte inferior hay solo un punto por cada ciclo de

la señal; obviamente es imposible recuperar la frecuencia real y la que capta el algoritmo de Fourier es la de la frecuencia fantasma.  $f_a = 1/T_a$

Como solución al problema se deben tomar 2 medidas:

- Aplicar una frecuencia de muestreo  $f_s$  que cumpla con el teorema de muestreo de Nyquist

$$f_s > \lambda f_{m\acute{a}x}$$

Donde  $\lambda$  es una constante mayor que 2 (usualmente se usa 2.56).

- Aplicar un filtro análogo pasa bajos (o "anti-aliasing") que extraiga todas las componentes superiores a  $f_{m\acute{a}x}$ .

En este trabajo se utiliza como filtro anti-aliasing la tarjeta de adquisición de datos NI 9234 mencionado entre sus características descritas en el capítulo IV.

## 2.4) Filtros

Tienen como función remover una banda de frecuencias y se utilizan en la etapa de procesamiento de la señal.

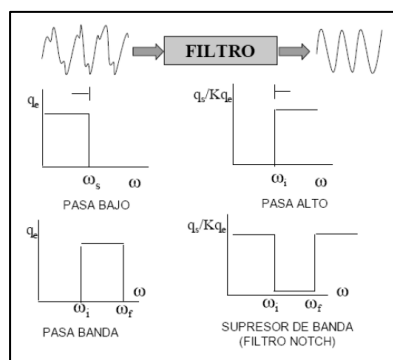


Figura 2.3: Imagen representativa de los distintos filtros.

Los filtros digitales son una de las herramientas más frecuentes en el procesamiento de señales, ya que suministran mecanismos poderosos para eliminar partes indeseadas, el beneficio de esta manera interactiva es poder configurar los filtros sin la necesidad de entender las diferencias entre ellos para lograr los resultados deseados.



Figura 2.4: Panel frontal del filtro en LabVIEW

Existen varios tipos de filtros digitales, los filtros pasa bajo, pasa altos, pasa banda. Indicados en la figura 2.3.

Se utiliza, un filtro pasa banda para el acondicionamiento de la señal (ver figura 2.4). Para mayor detalle ver capítulo VIII.

### Filtro pasa banda

Un filtro pasa banda es capaz de filtrar sólo las frecuencias que se encuentren dentro de la banda de filtrado y es capaz de separar por componentes. Un claro ejemplo de esto es lo utilizado en los dial de las radios ya que éste controla en qué frecuencia sintonizar el filtro, dejando pasar la frecuencia que se quiere escuchar y eliminando el resto (ver figura 2.5).

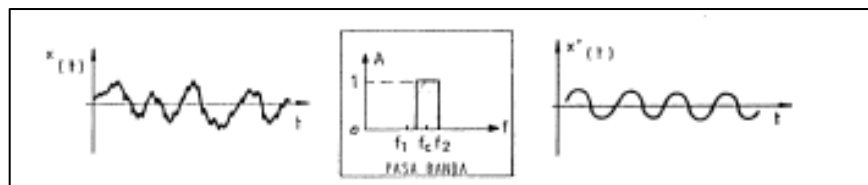


Figura 2.5: Diagrama de filtro pasa banda.

(Citado del manual análisis vibraciones 1 Dr. Pedro Saavedra G.)

## CAPÍTULO III

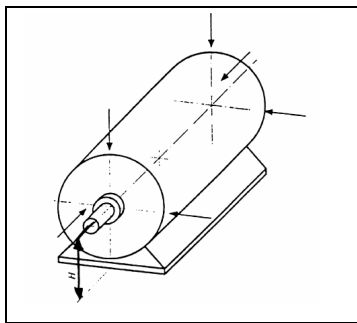
### NORMA ISO 2372 - VIBRACIONES MECÁNICAS DE MÁQUINAS

Para establecer las condiciones y procedimientos generales en la medición y evaluación de la vibración (utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de la máquina). Se utilizó la Norma ISO 2372 debido a que la potencia del motor del banco de ensayos es de 0,75 kW, y la Norma ISO 10816-1995 sólo contempla equipos sobre 15 kW.

La Norma ISO 2372 define las bases y reglas específicas empleadas para la evaluación de la vibración mecánica de máquinas con un rango de operación de 10 a 200 (rev/s). Las vibraciones consideradas en este estándar para evaluar su severidad son aquellas vibraciones medidas en la superficie de la máquina, tales como, la cubierta de sus descansos, y en rango de frecuencias comprendidos entre los 10 hasta 1000Hz.

Es claro que las vibraciones medidas en la superficie de la máquina sólo evidencian una indicación de los esfuerzos producidos al interior de éstas, y no son necesariamente indicativas de los esfuerzos reales generados.

Establece además, que los puntos de medición deberían ser preferentemente elegidos donde la energía es transmitida a los soportes o a otra parte del sistema. Las mediciones deben ser realizadas sobre cada descanso principal de la máquina en sus dos ejes perpendiculares, vale decir, vertical y horizontal (ver figura 3.1).



**Figura 3.1:** Puntos de medición en el motor según Norma ISO 2372.

### 3.1) Clasificación de la maquinaria.

En este estándar las máquinas se clasifican de acuerdo a la potencia, el tipo de montaje utilizado y el uso. Las clasificaciones se muestran a continuación para las máquinas que giran entre 10 y 200 (rev/s):

- CLASE I** : Máquinas pequeñas con potencia menor a 15 kW.
- CLASE II** : Máquinas de tamaño mediano con potencias entre 15 y 75 kW, o máquinas rígidamente montadas hasta 300 kW.
- CLASE III** : Máquinas grandes con potencias sobre 300 kW, montadas en soportes rígidos.
- CLASE IV** : Máquinas grandes con potencia sobre 300 kW, montadas en soportes flexibles.
- CLASE V** : Máquinas y sistemas conductores con fuerzas de inercia desbalanceadas (debido al movimiento recíproco de alguno de sus componentes) montadas sobre fundaciones las cuales son relativamente rígidas en la dirección de la medición de la vibración.
- CLASE VI** : Máquinas y sistemas conductores con fuerzas de inercia desbalanceadas, montadas en fundaciones las cuales son relativamente elásticas en la dirección de la medición de la vibración, tales como, harneros vibratorios, máquinas centrífugas, molinos etc.

La siguiente tabla utilizada para las máquinas de clase I al IV es apropiada para la mayoría de las aplicaciones. Considerando que la velocidad de giro del banco de ensayo se encuentra desde las 900 hasta las 2100 rpm, será incluida en la clasificación de MÁQUINA CLASE I, lo cual le permitiría un máximo de vibración para el rango satisfactorio de hasta 1,80 mm/s rms.

### 3.2) Rangos de severidad vibratoria para máquinas clase I hasta IV.

Rango de velocidad Efectiva RMS (mm/s)	Tipos de Máquinas			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,18 - 0,28	A	A	A	A
0,28 - 0,45				
0,45 - 0,71				
0,71 - 1,12	B	B	B	A
1,12 - 1,8				
1,8 - 2,8	C	C	B	B
2,8 - 4,5	D	C	C	
4,5 - 7,1		D	C	C
7,1 - 11,2			D	D
11,2 - 18	D	D	D	D
18 - 28				

#### Calidad de la vibración.

La calidad de la vibración permite tener un parámetro para evaluar cuantitativamente una máquina dada y proveer una guía de posibles acciones. Las diferentes calidades o zonas de vibración están categorizadas de la siguiente manera:

**Zona A:** Buena

**Zona B:** Satisfactoria

**Zona C:** Insatisfactoria

**Zona D:** Inaceptable

(Norma citada de la página Web: <http://www.whitmores.cl/Vibraciones/NivAlarmas1.htm>)

## CAPÍTULO IV

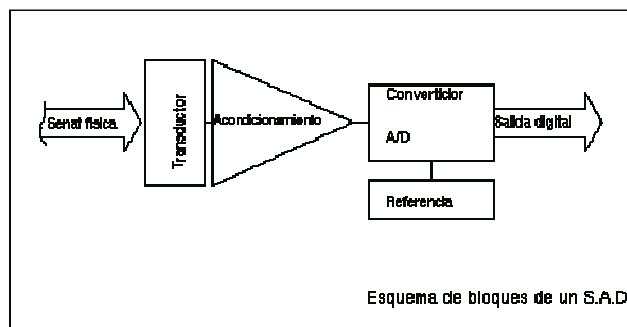
### TÉCNICAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con un computador un fenómeno que puede ser eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ (ver figura 4.1) consiste en sensores, hardware de medidas DAQ y un computador con software programable. En este caso se ocupa el programa LabVIEW para adquirir las señales provenientes de la tarjeta de adquisición de datos **A/D NI 9234**.

#### 4.1) Estructura de adquisición de datos



Figura 4.1: Sistema de adquisición de datos.



Esquema de bloques de un sistema de adquisición de datos.



## 4.2) Descripción de los equipos

La adquisición de los datos de la señal eléctrica, que proporciona la salida del acelerómetro (ver figura 4.4), es realizada por una tarjeta A/D NI 9234 de National Instruments™ (ver figura 4.3). Esta tarjeta está montada en un chasis NI CompactDAQNI cDAQ-9178 (ver figura 4.2).

Los datos recolectados de cada una de las señales son digitalizada (se toman valores puntuales de la señal analógica), filtrada y acondicionada, para así mostrar sólo las componentes de interés en el espectro, asegurando que la señal procesada corresponda a la señal analógica inicial (por ejemplo mediante el filtro anti-aliasing).



Figura 4.2: Chasis NI CompactDAQ NI cDAQ-9178

### Características técnicas de tarjeta A/D NI 9234

Número de canales	4 canales de entrada analógica
Resolución ADC	24b bit rango dinámico de 102 dB; filtros anti-aliasing
Frecuencia de muestreo máxima	51.2 kS/s
Tipo de convertidor ADC	Delta – Sigma (con prefiltro analógico)
Modo de muestreo	Simultaneo



Figura 4.3: Tarjeta A/D NI 9234

### Características técnicas de los acelerómetros AC102-1A

Acelerómetros	Modelo AC102-1 <sup>a</sup> CTC
Sensibilidad:	100 mV/g
Protección máxima contra impactos	5,000 g, peak
Rango dinámico	+/- 50 g, peak
Rango de frecuencias	0,5 – 15000 Hz (+/- 3dB) 2 – 10000 Hz (+/- 10%)
Ruido eléctrico	10 Hz - 14 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 100 Hz - 2.3 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
Frecuencia resonante	23000 Hz
Tipo de conector	2 Pin MIL-C-5015
Montaje	Base magnética plana y atornilladas



Figura 4.4: Acelerómetro AC102-1A

Se utilizarán dos acelerómetros uno en el canal “0” para las lecturas de vibración en la dirección vertical, y otro acelerómetro en el canal “1” para las lecturas de vibración en la dirección horizontal.

### Conjunto de adquisición y banco de ensayo SpectraQuest Magnum

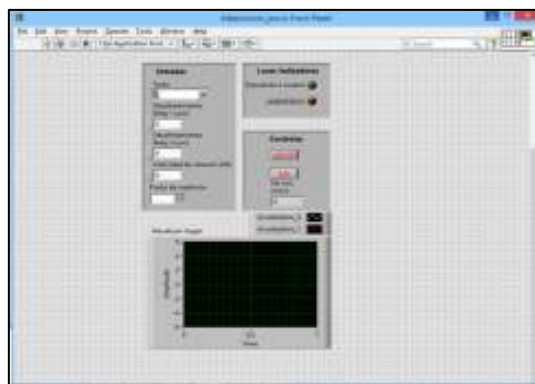


### 4.3) Etapa de adquisición y procesamiento de datos

Para la adquisición de datos se utiliza un programa creado en el software llamado LabVIEW. En este software existen dos pantallas que permiten visualizar las señales capturadas por los acelerómetros. Esto se logra mediante el uso de bloques pre-programados que se enlazan unos con otros en un entorno gráfico.

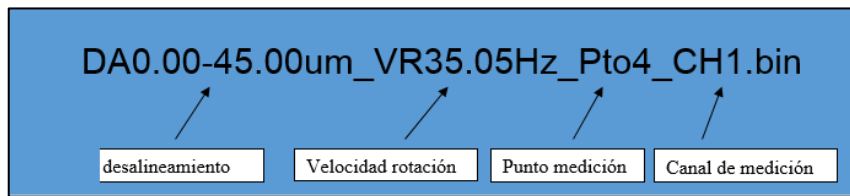
Los programas que se pueden desarrollar en LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), debido a que su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Un VI de LabVIEW se divide principalmente en dos partes:

**Panel frontal:** Se utiliza para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Aquí se podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real. El panel frontal (ver figura 4.5) permite configurar la información de las velocidades de giro, puntos donde se está midiendo, tarea de adquisición, distintos grados de



**Figura 4.5:** Panel frontal del programa para adquirir datos

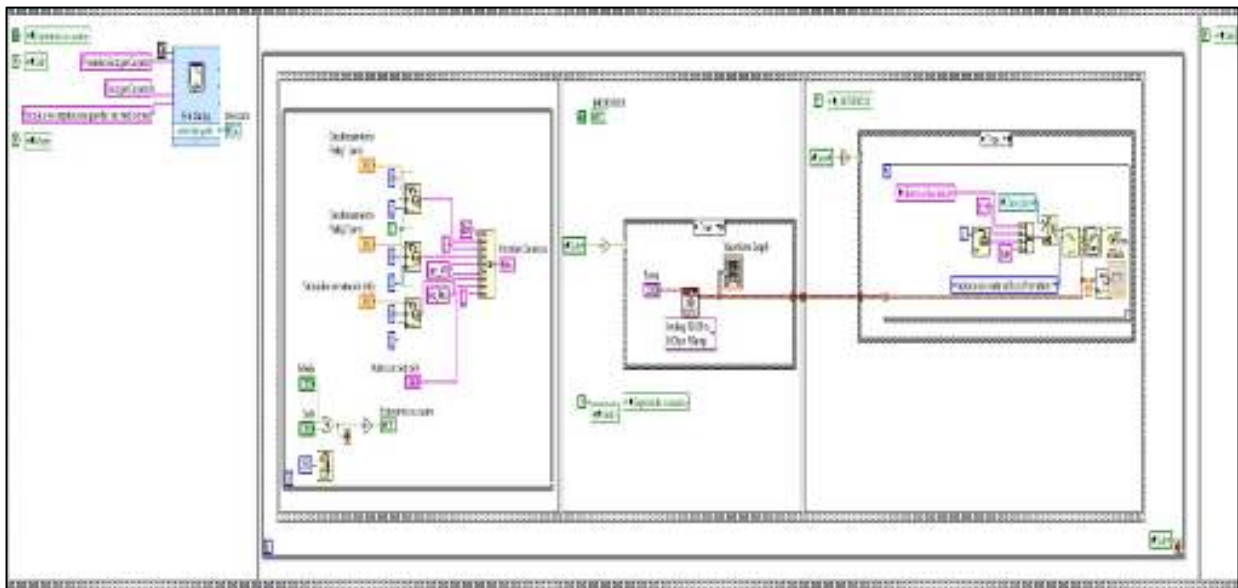
desalineamiento de cada reloj comparador (ubicados en los puntos 3-4 del banco de ensayos), además posee un indicador luminoso que indica el estado de la tarea asignada. Ese indicador puede ser de dos colores, el color verde indica que está listo para medir y el color rojo indica que está en proceso de medición. Además el programa incorpora dos botones uno que se denomina medir y el otro que es salir, si se presiona medir el programa inicia la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos midiendo y generando un archivo con todos los datos ingresados en el panel frontal. Un ejemplo del archivo que genera se puede ver en la figura 4.6.



**Figura 4.6:** Ejemplo del archivo generado del programa para adquirir señales

**Diagrama de bloque:** Constituye el código de la fuente del VI (ver figura 4.7). Es donde se desarrolla toda la programación, también donde se diseña la tarea y se le asignan funciones.

Los elementos del panel frontal aparecen ahora como parte del diagrama de bloques que pueden ser usados directamente junto con tareas programadas, para controlar o realizar cualquier procesamiento de las señales tanto de entradas y salidas que se captaron del panel frontal.



**Figura 4.7:** Diagrama de bloques del programa para adquirir señales

## CAPÍTULO V

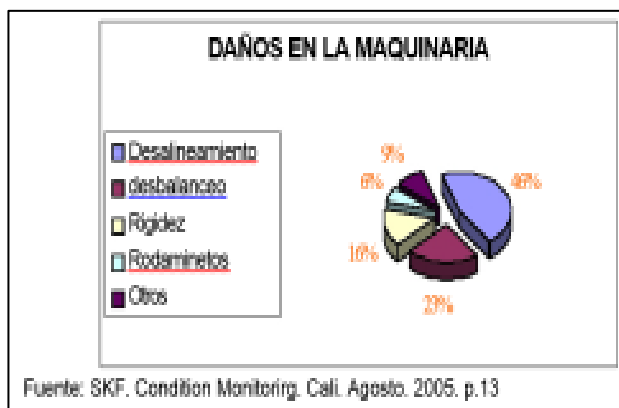
### DESALINEAMIENTO EN EJES ROTATORIOS

#### 5.1) Importancia de la alineación en ejes rotatorios

Los diagnósticos que surgen del análisis vibratorio de equipos rotativos con niveles en alarma, generalmente indican que hay dos causas principales que los originan:

- Desbalanceo de rotores.
- Desalineación entre los ejes de máquinas conductora y conducida.

Los daños en las máquinas rotativas son producto de cuatro fenómenos: como la rigidez en un 16%, daño en rodamiento en un 6%, desbalanceo en un 23% y otros daños en un 6%. En la gráfica de la figura 5.1 se explica claramente como es el porcentaje de estos daños.



**Figura 5.1:** Gráfica estadística de como son causados los daños en las maquinarias

#### 5.2) Tipos de desalineamiento

Cualquier movimiento irregular transmitido, a través de los ejes, causa efectos en el comportamiento de las máquinas, y para evitarlos se deben establecer con precisión los cambios que soportan desde sus estados en frío o en reposo hasta su operación de normal funcionamiento. Se puede considerar que al dejar alineadas las máquinas en condiciones de reposo, cuando estas adquieren su estado de funcionamiento dinámico, sus ejes quedan alineados.

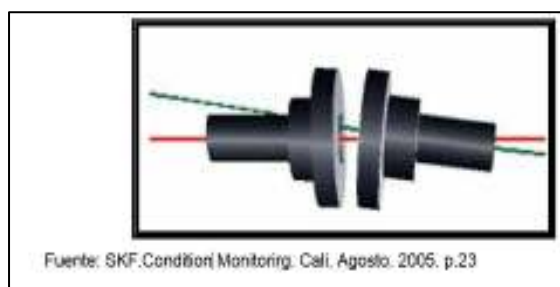
Los tipos de desalineamiento que afectan el buen funcionamiento de las máquinas son:

- **Desalineamiento angular**
- **Desalineamiento paralelo**

La desalineación produce una variedad de síntomas en tipos diferentes de máquinas y se deben consultar las formas de vibraciones promedios para máquinas en condiciones normales de operación con el fin de determinar los niveles permisibles vibratoriamente hablando.

- **Desalineamiento Angular**

La desalineación angular produce un momento de flexión en cada eje, generando fuertes vibraciones axiales. Estas altas vibraciones, o fuerzas extrañas en el equipo, las soportan directamente los rodamientos, es decir, que no hay ni existe un paralelismo en los acoples de los equipos. Esto ocasiona un sonido anormal muy parecido al zumbido producido por un rodamiento picado, y dependiendo de la velocidad de la máquina los daños pueden ser de mayor magnitud como se indica anteriormente. En la figura 5.2, se observa como los ejes no están completamente alineados, es decir, no coincide uno con otro.



**Figura 5.2:** Esquema representativo de un desalineamiento angular

Los altos valores vibratoriales generados por la vibración axial cada 180° en desfase generan espectros característicos los cuales se pueden ver en la figura 5.3.

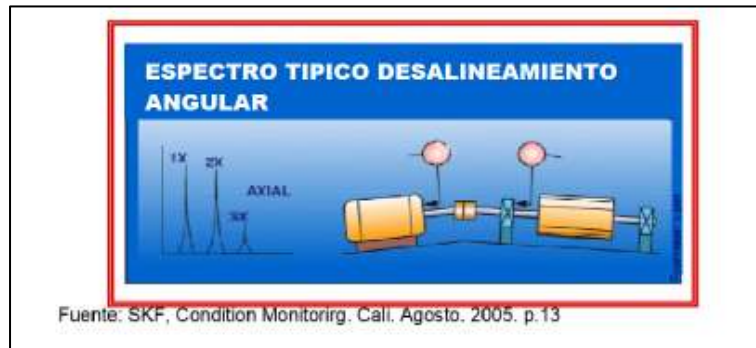


Figura 5.3: Espectro característico en un desalineamiento angular

- **Desalineamiento Paralelo:**

Conocido también como desalineamiento compensado. Es la distancia perpendicular entre la línea central de un eje y la misma línea central del otro, aquí se produce un desfase o una descompensación en cuanto a las distancias, esto se corrige moviendo paralelamente la máquina (ver figura 5.4). El no corregirlo obliga a la máquina a realizar un mayor trabajo.

Los daños ocasionados por este fenómeno son de alta consideración en los ejes de transmisión de potencia, en los acoples, en los sellos retenedores y en todas las partes de la máquina que dependen de una buena alineación paralela.

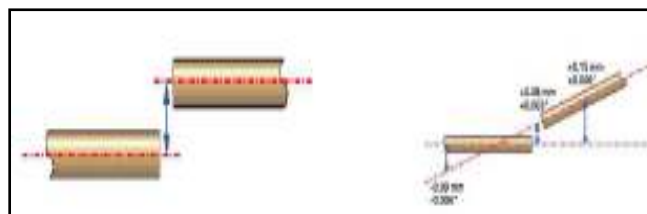


Figura 5.4: Esquema representativo de un desalineamiento paralelo

Las vibraciones en este desalineamiento son muy altas y destructivas, ya que los esfuerzos radiales y axiales que soportan los rodamientos no son beneficiosos.

En la figura 5.5 se puede ver como se presenta dicho fenómeno; la amplitud en los espectros es muy pronunciada, y con un equipo de análisis de vibraciones, se mostrarían

con más frecuencia verticalmente. El eje es obligado bruscamente a buscar su colinealidad y es cuando los rodamientos, ejes, canastillas del acople, acoples o manzanas, sellos retenedores y sellos mecánicos sufren daños muy graves.



**Figura 5.5:** Espectro característico de un desalineamiento paralelo

(Amu Molina, Eyson. Diseño e implementación de un banco didáctico para alineación de elementos rotativos. Tesis (Ingeniería Mecánica). Santiago de Cali, Colombia Universidad Autónoma de Occidente.)

### 5.3) Causas de la desalineación

A continuación se dan a conocer las posibles causas que ocasionan el desalineamiento en maquinarias acopladas. Estos fenómenos causantes no hay que dejarlos pasar por alto, en lo sucesivo hay que minimizarlos lo más posible y entre ellos tenemos:

- Errores de montaje entre ejes debido a soportes deformados o defectuosos.
- Mal diseño del equipo.
- Mal montaje de motores o bombas por parte los operarios.



#### **5.4) Consecuencias adversas de la desalineación**

- Disminución de la vida útil de los rodamientos, sellos, ejes y acoples.
- Incremento de temperatura de la carcasa.
- Incremento de la vibración axial y radial en las máquinas acopladas.
- Fugas de aceite, grasa y otros fluidos en los sellos retenedores.
- Ruptura de apoyos o soportes en las máquinas.
- Daño o aflojamiento de tornillos de fijación.
- Deformación de carcasas.
- Incremento en el consumo de energía eléctrica.
- Defecto de acoplamiento de máquinas durante el montaje.
- Expansiones térmicas en el proceso de trabajo.
- Fuerzas transmitidas a la máquina desde tuberías y miembros de soporte.
- Bases débiles.

## CAPÍTULO VI

### MEDICIONES REALIZADAS EN BANCO DE ENSAYOS Y DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA DESALINEAR

#### 6.1) Descripción de componentes del banco de ensayos SpectraQuest Magnum



**Motor Eléctrico:** Motor de 1 HP (0,75 kW), sistema de montaje de auto-alineación precableado para una fácil instalación / desinstalación 230 VAC, monofásico, 60/50 Hz.

**Variador de frecuencia:** 1 HP variador de CA de frecuencia variable con regulador del panel frontal programable con múltiples funciones.

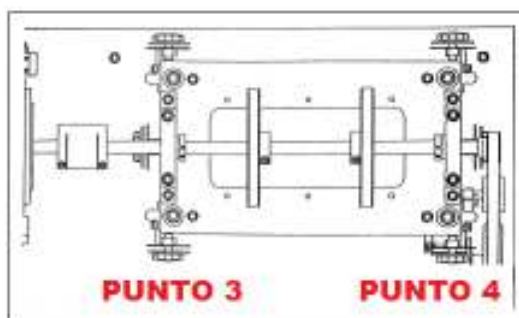
**Gama de revoluciones:** 0 a 6.000 rpm (corta duración) de velocidad variable.

**Tacómetro:** Incorporado con pantalla LCD y un pulso por revolución, salida TTL analógica para propósitos de adquisición de datos, voltaje 24V.

#### 6.2) Mediciones realizadas

Para el desarrollo de éste seminario se define analizar cinco grados de desalineamiento angular y cinco paralelos, todos estos a tres velocidades de rotación de 15Hz, 25Hz y 35Hz generando un total de 240 archivos, además se tomaron espectros bases de la máquina en la posición alineada.

### Vista superior del banco de ensayos



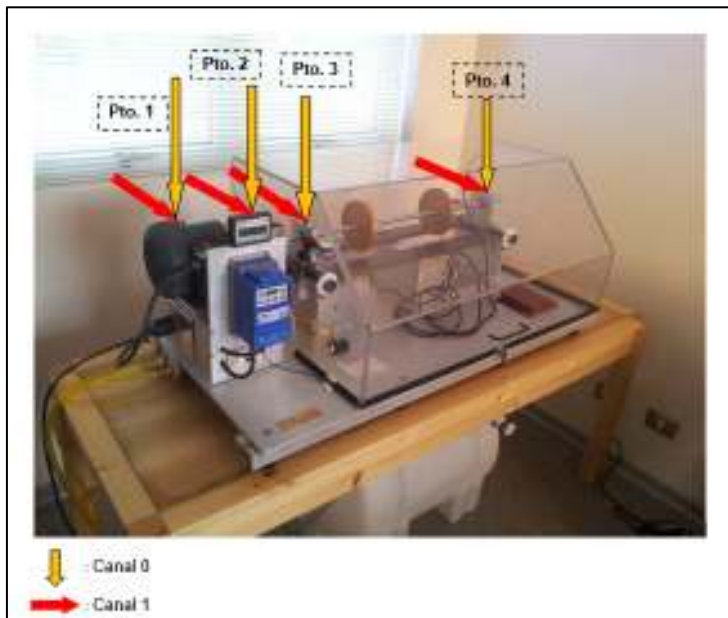
### Grados de desalineamiento angular

Tipo desalineamiento	Desalineamiento punto 3 (mm)	Desalineamiento punto 4 (mm)
Angular	0	0,15
Angular	0	0,25
Angular	0	0,35
Angular	0	0,45
Angular	0	0,50

### Grados de desalineamiento paralelo

Tipo desalineamiento	Desalineamiento punto 3 (mm)	Desalineamiento punto 4 (mm)
Paralelo	0,15	0,15
Paralelo	0,25	0,25
Paralelo	0,35	0,35
Paralelo	0,45	0,45
Paralelo	0,50	0,50

## Puntos de medición en banco de ensayo SpectraQuest Magnum



### 6.3) Procedimiento para desalinear el equipo

Primero se debe instalar un reloj comparador en el punto 3 y 4 para así tener una mayor exactitud del desplazamiento a realizar. Y poder tener un grado de legibilidad mayor al que el banco de ensayo trae como se muestra en la figura 6.1.



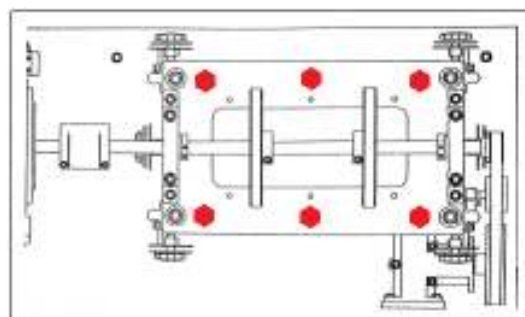
**Figura 6.1:** Posición del reloj comparador en el punto de medición 4

Después, el equipo posee dos trabas las cuales indican la posición alineada del banco de ensayo. Para poder desalinear se deben retirar las trabas como se muestra en la figura 6.2.



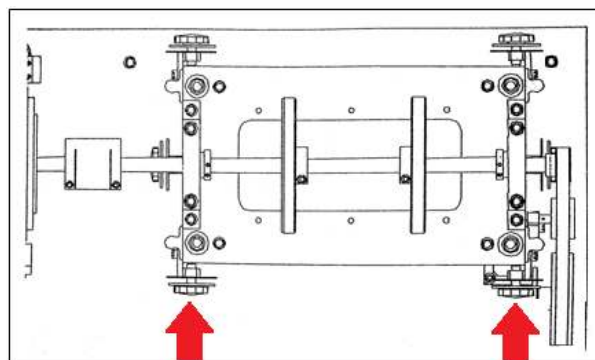
**Figura 6.2:** Posición de trabas indicando que el banco de ensayo se encuentra alineado

Una vez retiradas las trabas, se deben soltar los pernos superiores (Allen 8 mm) de la plataforma ilustrados en la figura 6.3 con los puntos de color rojo.



**Figura 6.3:** Puntos donde se encuentra anclada la plataforma en el banco de ensayo

Después se deben girar las manillas indicadas con flechas en la figura 6.4. Así logramos un desplazamiento horizontal de la placa superior.



**Figura 6.4:** Indicación del lugar donde se encuentran las manillas para desalinear el banco de ensayos

Y por último se deben apretar los pernos (Allen 8 mm) de la plataforma para poder realizar los análisis requeridos.

De esta forma se fueron realizando las 240 mediciones solicitadas para el desarrollo de este seminario.

## CAPÍTULO VII

### MEDICIÓN DE FRECUENCIA NATURAL EN EL BANCO DE ENSAYO

#### 7.1) Procedimiento de medición de frecuencia natural

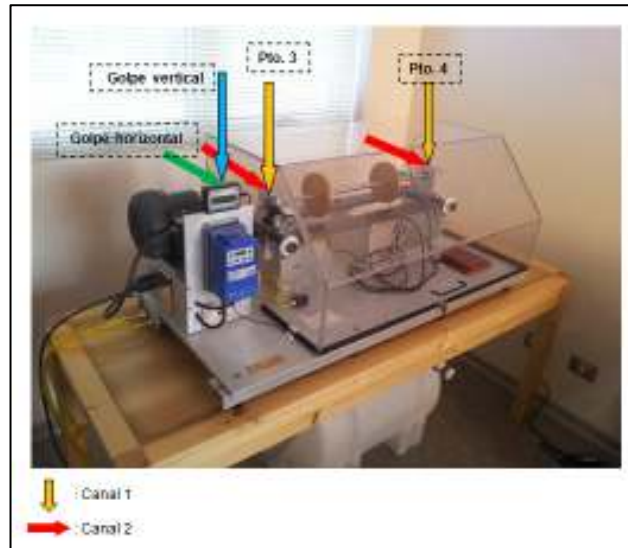
Para la medición de frecuencia natural del banco de ensayos se utiliza un martillo de impacto modelo PCB 086C03 (ver figura 7.1) que tiene una sensibilidad de 2,25 mV/N.

	Inglés	SI	
<b>Rendimiento</b>			
Sensibilidad ( $\pm 15\%$ )	10 mV / lbf	2.25 mV / N	
Gama de la medida	$\pm 500$ lbf pk	$\pm 2224$ N pk	
Frecuencia Resonante	$\geq 22$ kHz	$\geq 22$ kHz	
No linealidad	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	
<b>Eléctrico</b>			
Tensión de excitación	20 a 30 VDC	20 a 30 VDC	
Constante Corriente de Excitación	2 a 20 mA	2 a 20 mA	
Impedancia de salida	<100 Ohm	<100 Ohm	[1]
Salida de polarización de tensión	8 a 14 VDC	8 a 14 VDC	
Descarga constante de tiempo	$\geq 2.000$ segundos	$\geq 2.000$ segundos	[1]
<b>Físico</b>			
Sintiendo Element	Cuarzo	Cuarzo	
Sellado	Epoxy	Epoxy	
Hammer Misa	£ 0.34	0,16 kg	
Diámetro de la cabeza	0.62 en	1,57 cm	
Diámetro de la punta	0.25 en	0,63 cm	
Martillo Longitud	8.5 en	21,6 cm	
Eléctrico Posición de conexión	Parte inferior de la manija	Parte inferior de la manija	
Extender Misa Peso	2,6 oz	75 gm	
Conector eléctrico	Jack BNC	Jack BNC	



Figura 7.1: Martillo de impacto modelo PCB 086C03

El ensayo se realiza golpeando en el punto indicado en la figura 7.2 en forma vertical y horizontal. Instalando los sensores en el punto 3 y 4, además desalineando en forma angular el banco de ensayo. Utilizando para ello el procedimiento indicado en el capítulo VI.



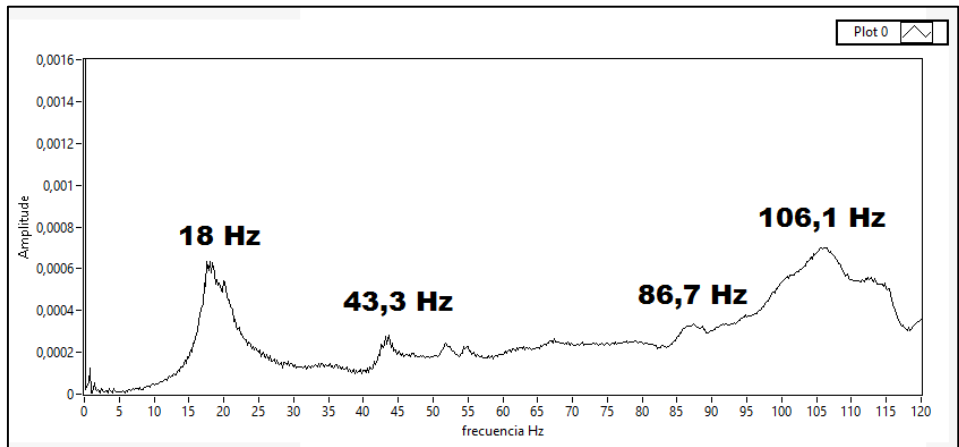
**Figura 7.2:** Secuencia de toma de muestras en el análisis de la frecuencia natural del banco de ensayos

## 7.2) Gráficos comparativos de frecuencias naturales en el banco de ensayo

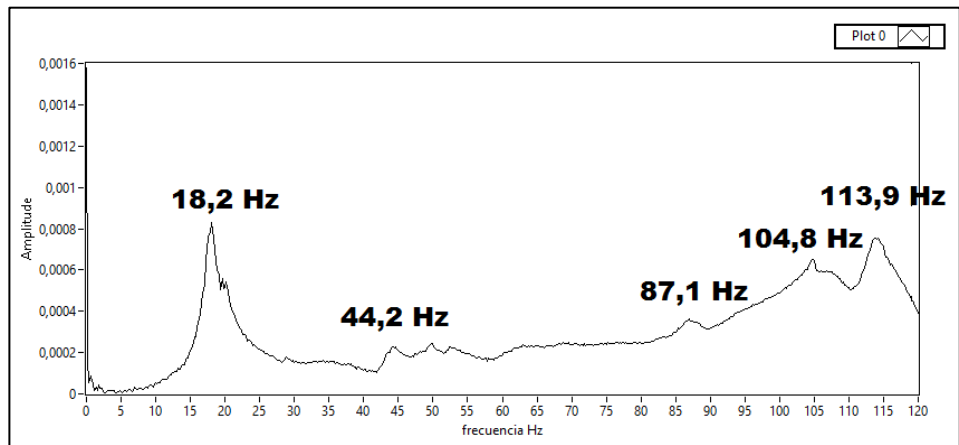
En los gráficos siguientes se observa la variación de las frecuencias naturales. Esta comparación se realiza midiendo un mismo punto, el punto 3 en el canal vertical (CH1), y la excitación se realiza en el motor, punto número 2, en la componente vertical.

En el anexo A se encuentra una planilla en la cual se ingresaron los valores obtenidos separados por puntos de medición, identificando las frecuencias naturales del banco de ensayo.

**Gráfico en posición alineada (0-0) del banco de ensayos**



**Gráfico de desalineamiento angular (0-0,50) del banco de ensayos**



Como conclusión del estudio de frecuencia natural del banco de ensayos, se puede apreciar, que existe una diferencia entre los valores de las frecuencias naturales en la posición alineada (0-0) y el desalineamiento angular en posición (0-0,50). Los gráficos fueron realizados en la misma escala para poder comparar las distintas zonas resonantes del equipo, esto ayuda a apoyar la tesis de que el equipo al desalinearlo cambia sus frecuencias naturales.



## CAPÍTULO VIII

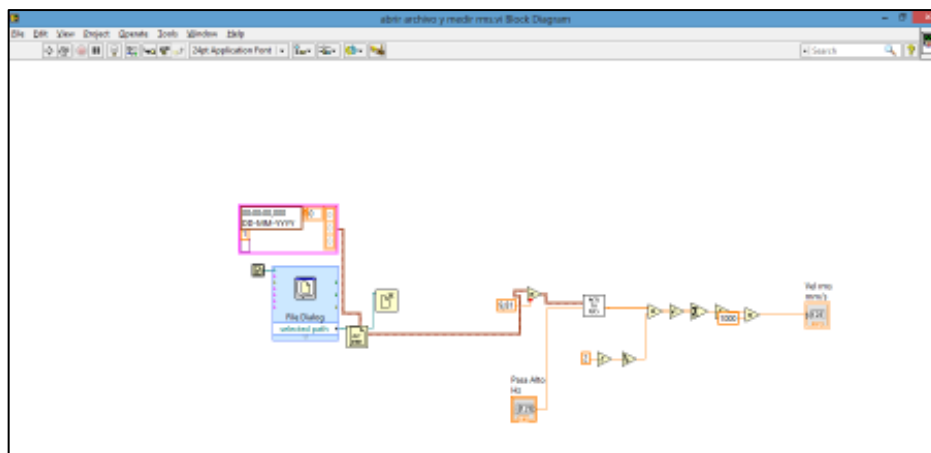
### ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

#### 8.1) Procedimiento de obtención de valores RMS globales en los archivos medidos

En los siguientes gráficos se podrá observar cual fue la variación de los valores RMS globales obtenidos en las mediciones realizadas dentro del laboratorio, para cada punto de medición se realiza una interpretación que corresponde al análisis de cada uno de ellos.

Para poder obtener los valores RMS se genera en LabVIEW un programa capaz de poder abrir el archivo medido y en un display mostrar el valor RMS en mm/s.

En la figura 8.1 se muestra el diagrama de bloques utilizado para realizar dicho procedimiento.



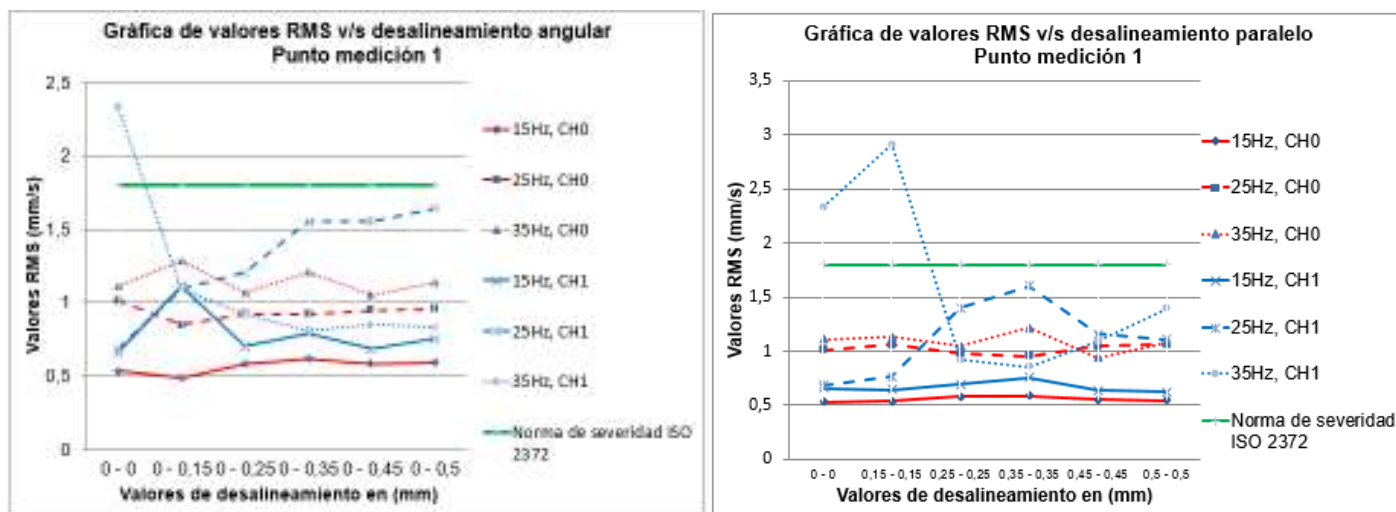
**Figura 8.1:** Diagrama de bloques para medir valor RMS

Después de abrir cada uno de los archivos se genera una planilla en excel (ver anexo B) para poder ordenar los datos obtenidos por: tipo de desalineamiento, punto de medición, grado de desalineamiento, velocidad de rotación, etc. La idea de hacer esta

planilla es poder filtrar los datos y así generar los gráficos del comportamiento de los valores RMS en función de los cambios del desalineamiento.

## 8.2) Interpretación de gráficos de valores RMS globales por punto de medición

### Punto de medición número 1



Estos gráficos corresponden al punto de medición número 1. El del lado izquierdo corresponde al desalineamiento angular y el del lado derecho al desalineamiento paralelo.

Los acelerómetros se encuentran ubicados en la tapa del ventilador del motor, el primero se ubica en la componente vertical (CH0) y el segundo en la componente horizontal (CH1).

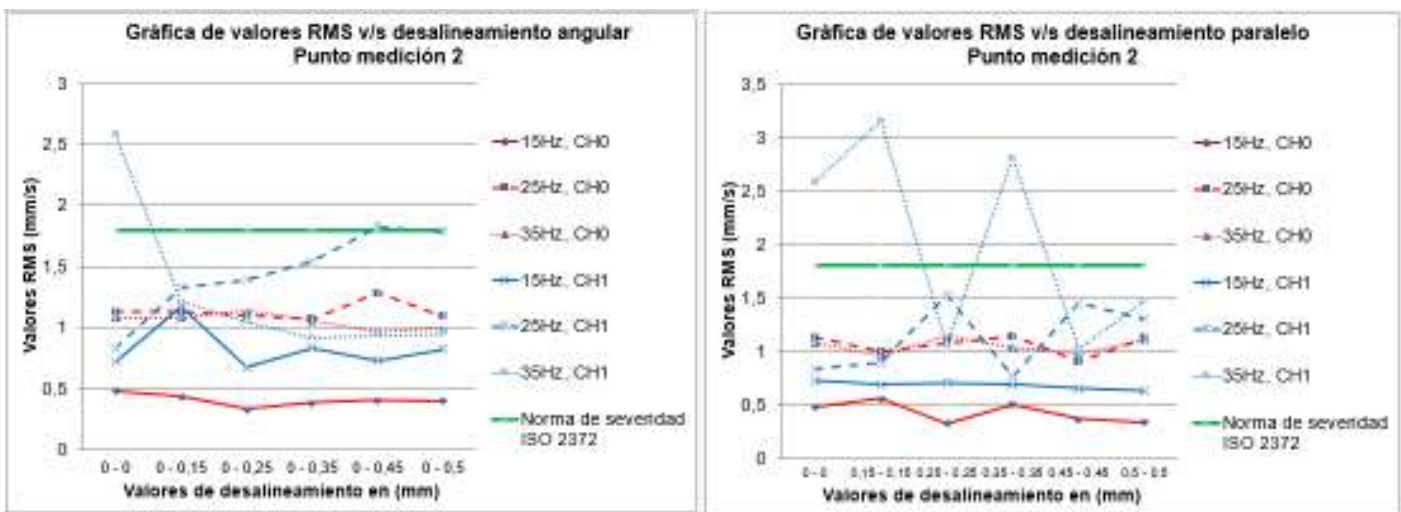
De los gráficos se puede concluir que las componentes verticales (CH0), representadas de color rojo, son notoriamente menores en magnitud a las componentes horizontales (CH1), representadas de color azul, debido a que el desalineamiento realizado fue en el sentido horizontal.

Si se analiza el comportamiento de los valores RMS globales en función del aumento del desalineamiento, se puede concluir, que a pesar de que se aumenta el

desalineamiento en el banco de ensayos los valores RMS globales del punto número 1 no aumentan.

Existen algunos casos excepcionales en que si ocurren, como por ejemplo, en la componente horizontal (CH1) a la velocidad de 25Hz, los valores RMS globales del desalineamiento angular aumentan a medida que se incrementa el desalineamiento.

## Punto de medición número 2



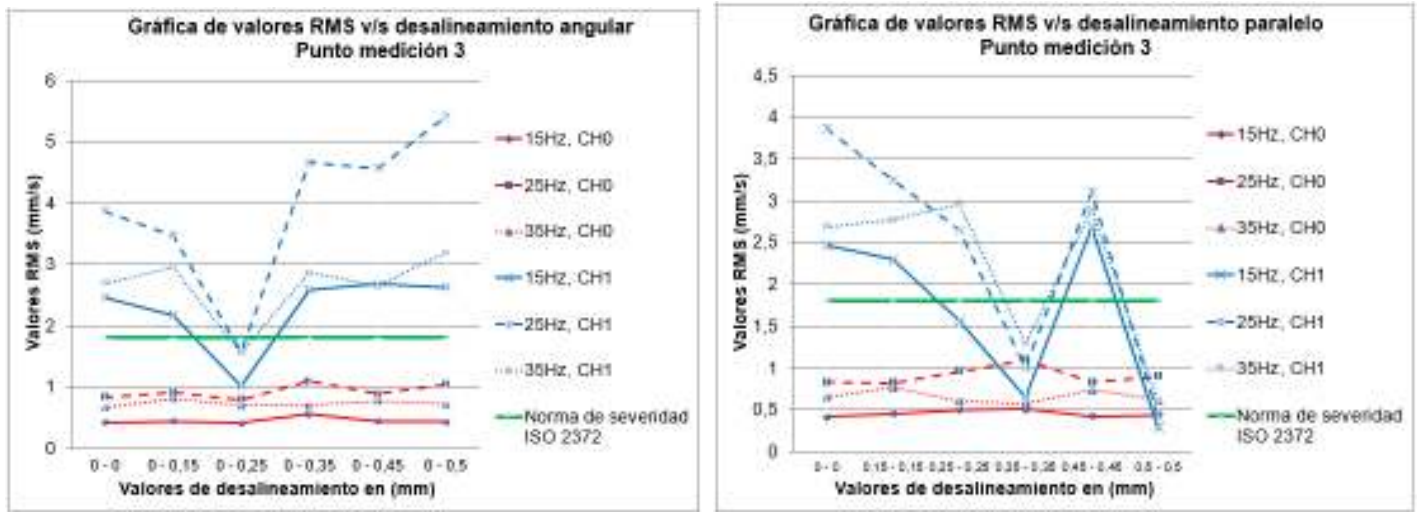
Estos gráficos corresponden al punto de medición número 2. El del lado izquierdo corresponde al desalineamiento angular y el del lado derecho al desalineamiento paralelo.

Los acelerómetros se encuentran ubicados en el lado del acople del motor, el primero se ubica en la componente vertical (CH0) y el segundo en la componente horizontal (CH1).

Del análisis de los gráficos se pudo observar que los valores RMS de las componentes verticales, mostradas de color rojo en el gráfico, tienen una menor magnitud que las componentes horizontales mostradas de color azul.

Al comparar los valores RMS globales entre el gráfico de desalineamiento angular y paralelo a la velocidad de 35Hz (CH1), se puede concluir, que los valores en el desalineamiento paralelo son mayores.

### Punto de medición número 3



Estos gráficos corresponden al punto de medición número 3. El del lado izquierdo corresponde al desalineamiento angular y el del lado derecho al desalineamiento paralelo.

Los acelerómetros se encuentran ubicados en un soporte de rodamiento rígido de bolas, el primero se ubica en la componente vertical (CH0) y el segundo en la componente horizontal (CH1). El rodamiento es nuevo debido a ello no estudiaremos su comportamiento.

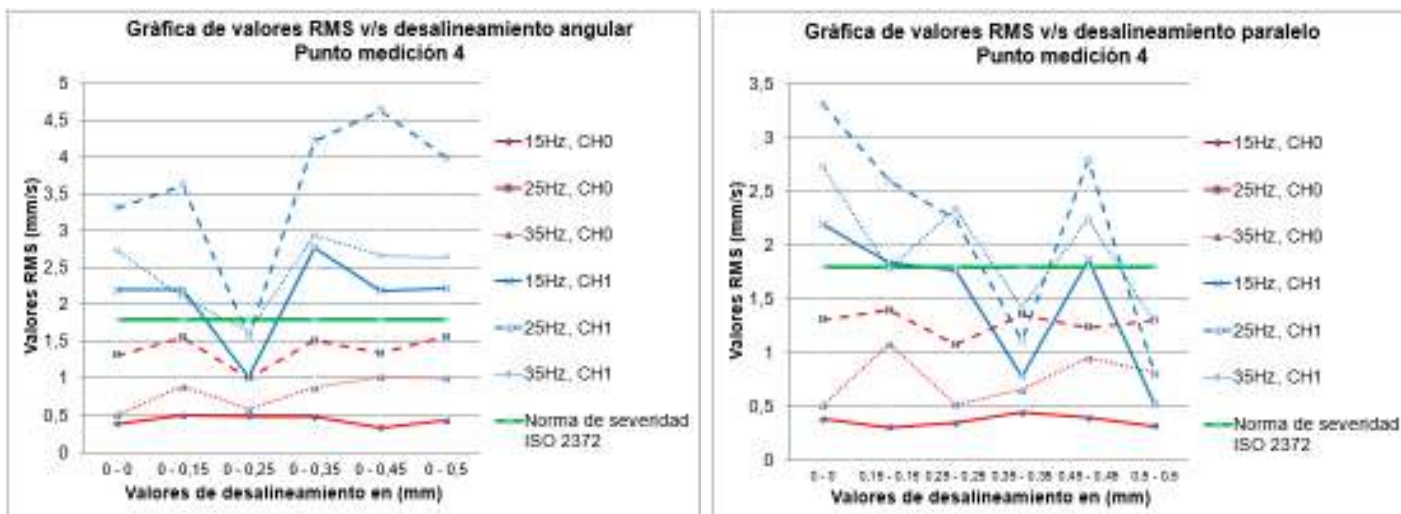
En estos gráficos se pueden apreciar notoriamente la diferencia entre los valores RMS de las componentes verticales y horizontales. Cabe destacar que el comportamiento de ambos gráficos en las componentes verticales tienden a ser constantes, independiente del grado de desalineamiento y el cambio de velocidad de rotación del eje.

Se puede apreciar también del gráfico de desalineamiento angular, pero de la componente horizontal (CH1), que sus componentes tienen la tendencia a ir

aumentando a medida que se incrementa el grado de desalineamiento. Excepto para el desalineamiento a (0,0-0,25mm) en el que los valores RMS disminuyen.

Otra posible causa del comportamiento reflejado en estos gráficos es que el banco de ensayos no se encuentre alineado al colocar las trabas, debido a que el comportamiento en este punto deja abierta la posibilidad de analizar el correcto alineamiento del equipo. Esto se analiza en el estudio por componentes de los valores RMS indicados más adelante.

#### Punto de medición número 4



Estos gráficos corresponden al punto de medición número 4. El del lado izquierdo corresponde al desalineamiento angular y el del lado derecho al desalineamiento paralelo.

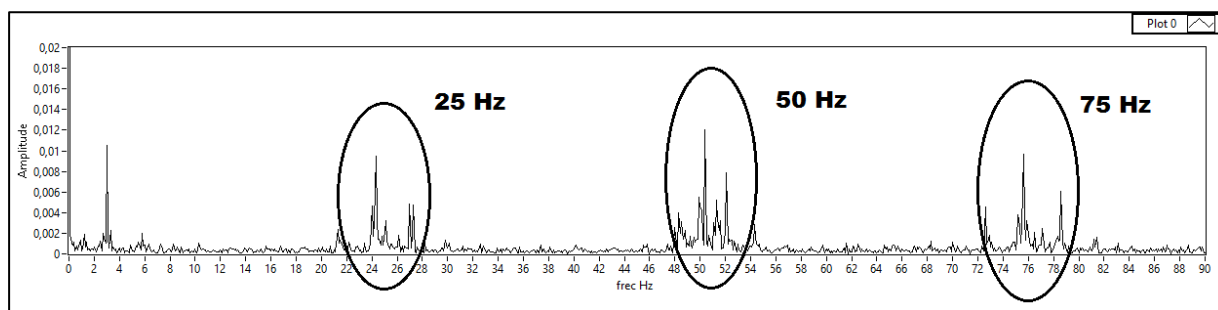
En el análisis del comportamiento del desalineamiento angular se puede observar que a 0-0,25(mm) se encuentran los menores valores RMS globales del equipo. Esto indica que en este punto el equipo se encuentra cerca a la condición alineada. Y a partir de ese punto si se aumenta el desalineamiento el comportamiento de los valores RMS globales aumentan.

En el análisis del desalineamiento paralelo se puede apreciar que a medida que aumenta el desalineamiento los valores RMS globales disminuyen. Una de las razones que podría estar causando este comportamiento es que en el desalineamiento a 0,50-0,50 (mm) el banco de ensayos este muy cercano a la posición alineada.

### 8.3) Problema en el espectro generado por fugas laterales

Al analizar los espectros medidos en el banco de ensayos se observa que se generan fugas laterales, causadas por una variación de velocidad del eje de rotación (el variador de frecuencia genera una variación de velocidad que se puede observar en el espectro), debido a este problema se genera un programa en LabVIEW capaz de poder incluir las fugas laterales utilizando un procedimiento de filtrado y traslapado de la señal obtenida. Generando el cálculo de los valores RMS por componente (1x, 2x y 3x) que sirve para generar los gráficos correspondientes para el estudio del desalineamiento en ejes rotatorios.

En la figura 8.2 se puede observar la imagen de un espectro el cual está girando a 25Hz por ende las componentes 1x, 2x y 3x serán respectivamente a 25Hz, 50Hz y 75Hz. Las elipses muestran las fugas laterales obtenidas a esa velocidad de rotación.



**Figura 8.2:** Imagen de las componentes 1x, 2x y 3x de un espectro girando a 25Hz

#### 8.4) Procedimiento de obtención de valores RMS por componentes utilizando un filtro pasa banda digital en los archivos medidos

A continuación, se muestra en la figura 8.3 el panel frontal del programa generado en LabVIEW para poder filtrar y analizar valores RMS por componentes.



**Figura 8.3:** Panel frontal del programa generado para medir valores RMS por componentes usando traslapado y filtro de señales

En el programa se observan 3 ventanas las cuales muestran la señal filtrada, donde el usuario debe definir el tipo de filtro a utilizar. Para este caso se utiliza un filtro pasa banda definiendo los límites de frecuencia superiores e inferiores.

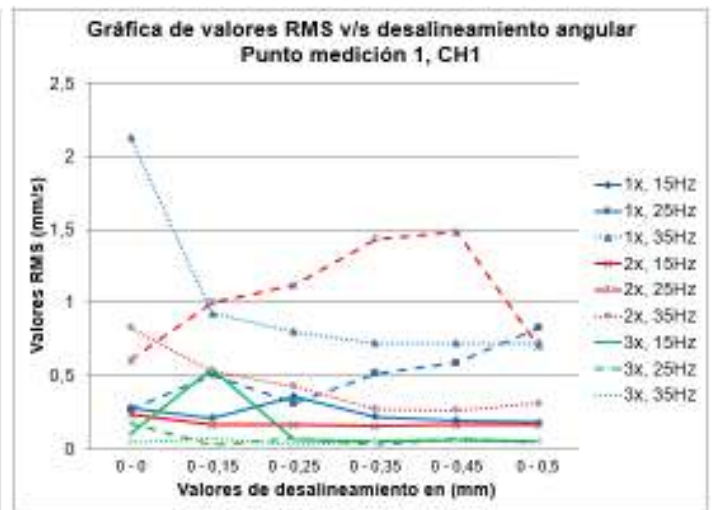
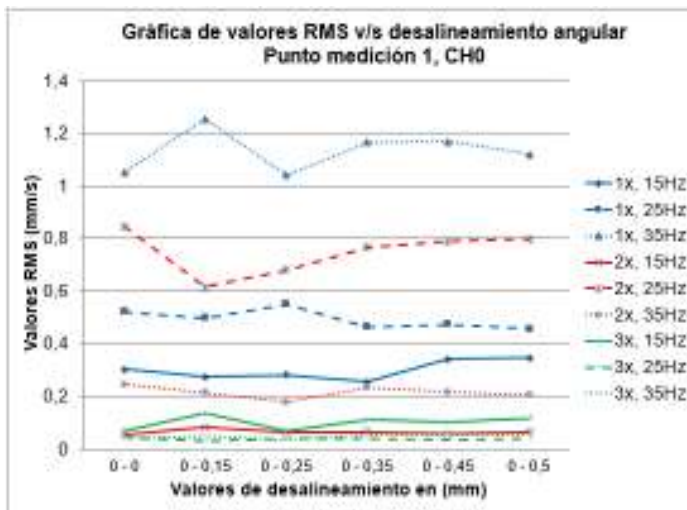
Después que el programa realiza el procedimiento de filtrado de la señal se debe definir el tiempo de muestreo inferior y superior. Para ello será necesario visualizar la forma de onda que se repite con la idea de obtener un valor representativo de las componentes.

Una vez definidos los parámetros se presiona un botón que calcula el valor RMS de cada filtro, es decir, se puede calcular el valor de las 3 componentes (1x, 2x y 3x) de una sola vez, todo esto se realiza para poder generar los gráficos representativos del comportamiento de las componentes en función del desalineamiento y del aumento de la velocidad de rotación del eje.

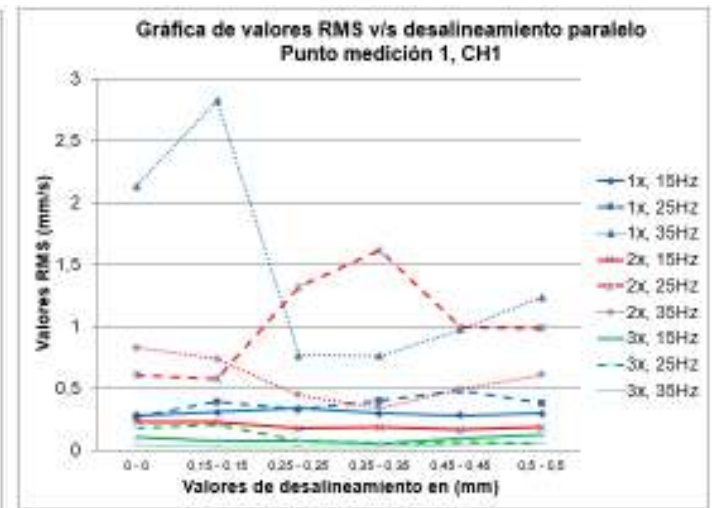
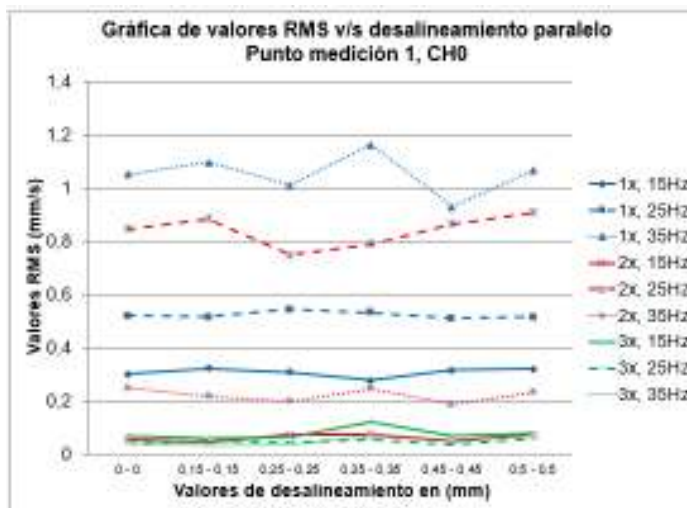
## 8.5) Interpretación de gráficos de valores RMS por componentes de cada punto de medición

### Punto de medición 1

#### Desalineamiento angular



#### Desalineamiento paralelo





En los gráficos de desalineamiento angular y paralelo del punto número 1, correspondientes a la componente vertical (CH0). Se observa que el comportamiento de los valores RMS por componentes 1x, 2x y 3x no se ven afectados al ir aumentando el desalineamiento.

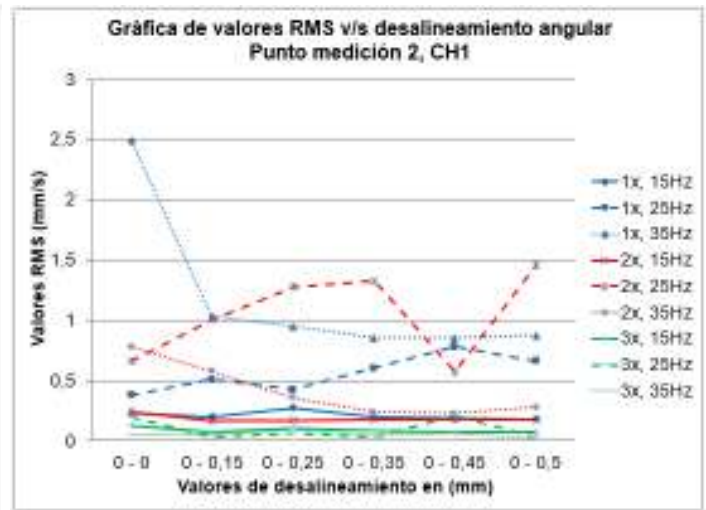
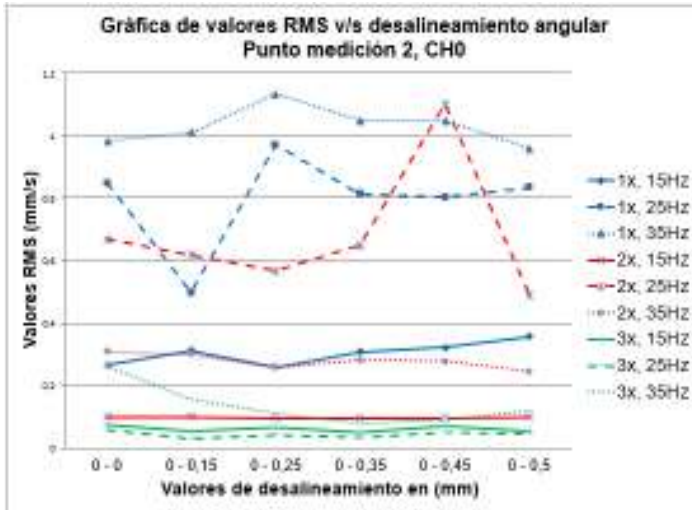
Se observa que los valores mayores se encuentran en la componente 1x y 2x, y el menor valor lo toma la componente 3x.

Si se analiza el gráfico de desalineamiento angular en la componente horizontal (CH1), se puede observar por ejemplo, la componente 1x a la velocidad de 25Hz la cual posee un comportamiento que a medida que aumenta el desalineamiento los valores RMS de la componente aumentan. De esto podemos concluir, que existe una correlación entre el grado de desalineamiento y el valor RMS de la componente 1x a 25Hz.

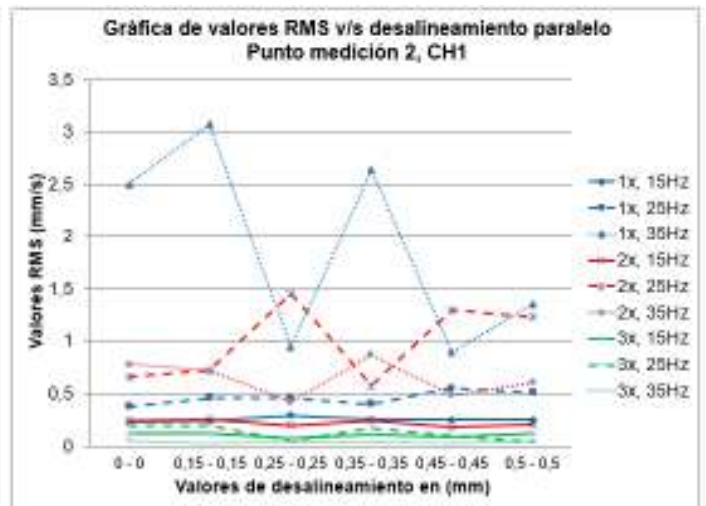
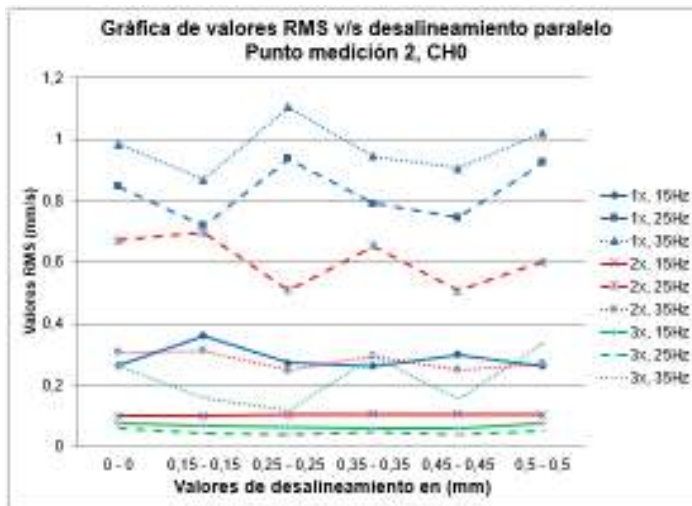
Para el análisis el comportamiento del gráfico de desalineamiento paralelo, en la componente horizontal (CH1), se observa que la componente 1x a 35Hz posee un comportamiento muy extraño, debido a que comienza con un valor RMS alto, y a medida que aumenta el desalineamiento los valores disminuyen hasta el desalineamiento de (0,25-0,25mm). Luego si se sigue desalineando el valor de la componente 1x aumenta, una posible explicación de este fenómeno es que el banco de ensayos no se encuentre alineado al instalar las trabas de posición que indicarían un alineamiento del motor con el eje.

## Punto de medición 2

### Desalineamiento angular



### Desalineamiento paralelo



Para el análisis del gráfico del punto número 2, en el desalineamiento paralelo en la componente vertical (CH0), se puede deducir que las componentes 1x, 2x y 3x a la velocidad de 15Hz presentan un comportamiento que se podría determinar como

constante. Y si se aumenta el grado de desalineamiento no existe aumento en las componentes.

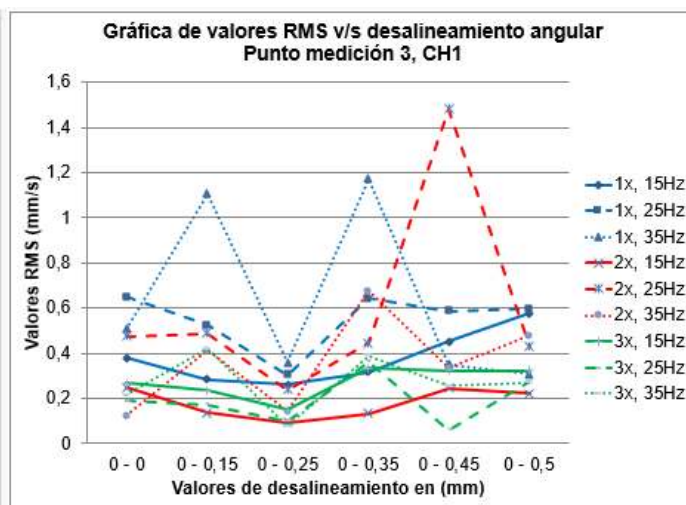
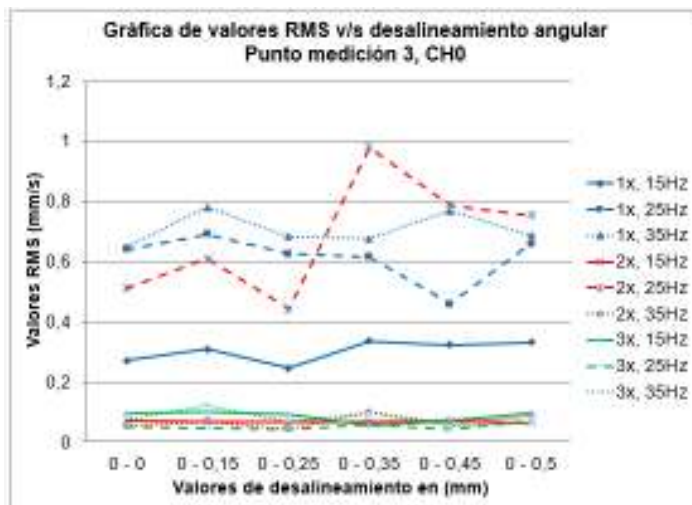
En general, si se comparan los gráficos de desalineamiento angular y paralelo se observa que los valores RMS por componente son mayores al realizar un desalineamiento paralelo.

Si se analiza el gráfico de desalineamiento paralelo en la componente vertical (CH0), se puede apreciar que no existe una variación en el comportamiento de los valores RMS a medida que aumenta el desalineamiento.

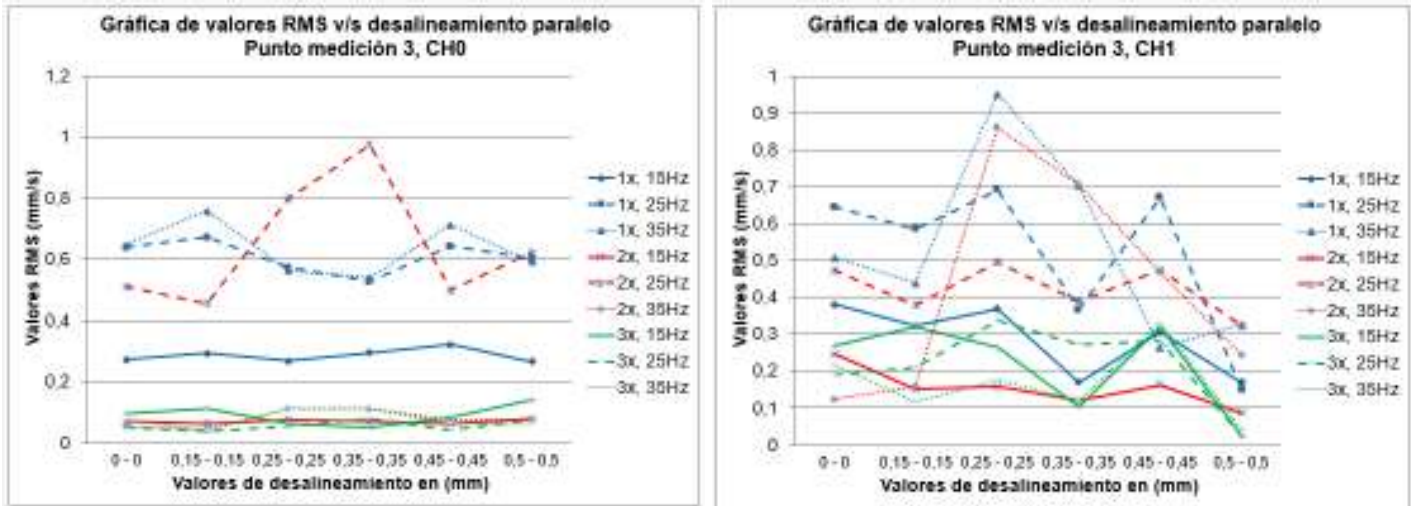
En la componente horizontal (CH1), se observa que en general es similar a un comportamiento constante excepto las componentes 2x a 25Hz y 1x a 35Hz que no siguen ese comportamiento.

### Punto de medición 3

#### Desalineamiento angular



## Desalineamiento paralelo



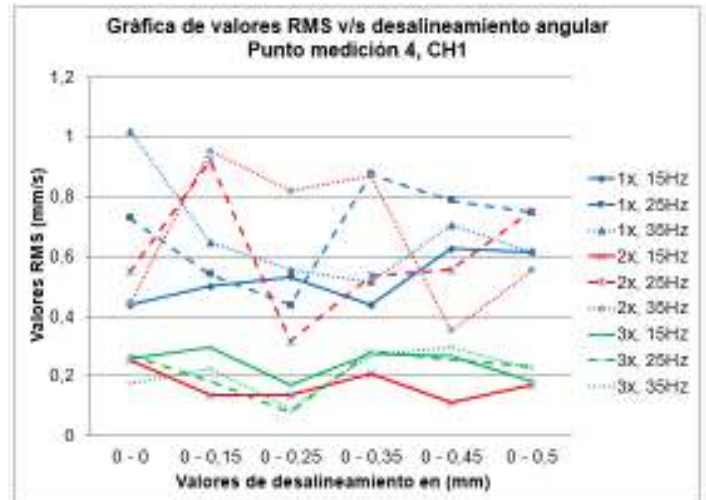
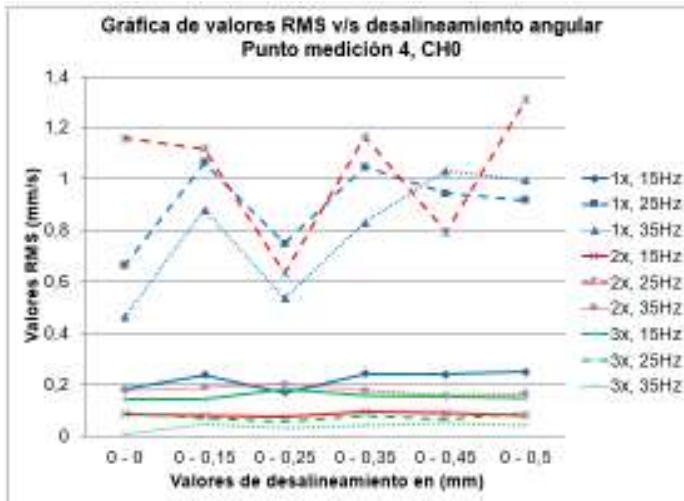
En el gráfico de desalineamiento angular del punto número 3 correspondiente a la componente vertical (CH0), se puede deducir de las componentes 1x, 2x y 3x a la velocidad de 25Hz, aumenta el desalineamiento de los valores tomados por la componente 2x adquiriendo un valor más alto en la posición (0-0,35mm). Al hacer el análisis de frecuencia natural del equipo para esta posición de desalineamiento nos encontramos que a 47,47Hz existe una frecuencia natural lo que explicaría el aumento de la componente 2x a 25Hz (ver planilla de anexo A).

Para el análisis del comportamiento del gráfico de desalineamiento angular del punto número 3 correspondiente a la componente horizontal (CH1). Se observa que todas las componentes a distintas velocidades disminuyen los valores RMS en un punto en común a (0-0,25mm). Lo que apoya la teoría que el banco de ensayo en su condición de fábrica no está alineado. Se sugiere realizar un estudio de alineamiento entre el motor y el eje.

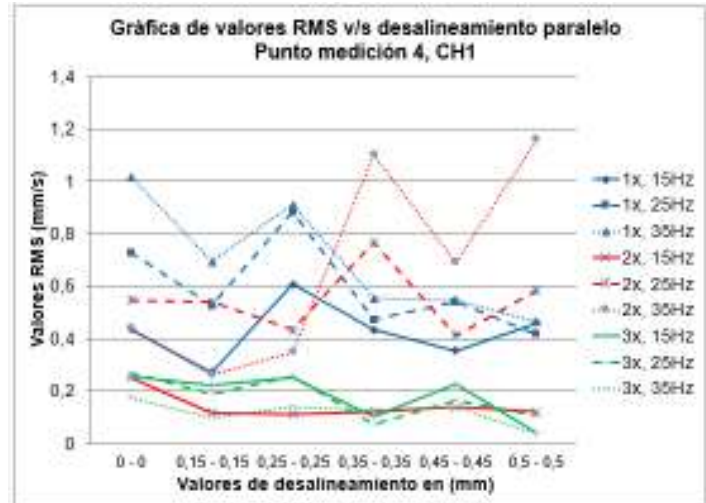
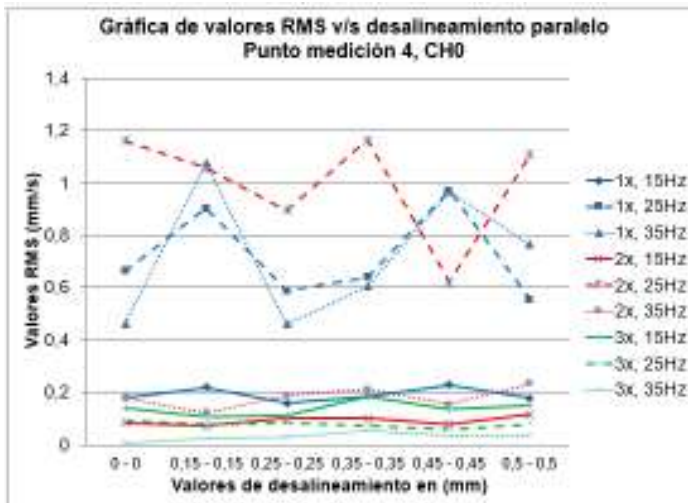
En el gráfico del punto número 3 de desalineamiento paralelo (CH0), se observa que la componente 2x a la velocidad de 25Hz, en el desalineamiento de (0,35-0,35mm) tiene un peak. Este fenómeno se puede asociar a una zona de resonancia, y es por ello que es necesario realizar un estudio de frecuencia natural del desalineamiento en paralelo para poder verificar ésta suposición.

## Punto de medición 4

### Desalineamiento angular



### Desalineamiento paralelo



En el gráfico de desalineamiento angular del punto número 4, correspondiente a la componente vertical (CH0), se puede apreciar que el comportamiento de los valores RMS de las componentes 1x, 2x y 3x, independiente de la velocidad de rotación, toman

el valor más bajo en el desalineamiento a (0-0,25mm). Esto nos permite seguir concluyendo que en la posición a (0-0,25mm) el banco de ensayos se encuentra muy cercano a estar en posición alineada.

Para el análisis del gráfico de desalineamiento angular del punto número 4 correspondiente a la componente horizontal (CH1), se observa que el comportamiento de la componente al 1x a la velocidad de 15Hz, aumenta su valor a medida que aumenta el desalineamiento.

En los gráficos de desalineamiento angular se puede observar que no existe una relación de los valores RMS muy clara al aumentar el desalineamiento, una de las posibles causas como se ha reiterado anteriormente, es que al desalinear el equipo en vez de aumentar el desalineamiento, siendo esta la idea original se acercó a una mejor posición de alineamiento del banco de ensayo.

## CAPÍTULO IX

### COMPROBACIÓN DE LA RIGIDEZ DEL ACOPLE

#### 9.1) Procedimiento de comprobación de rigidez

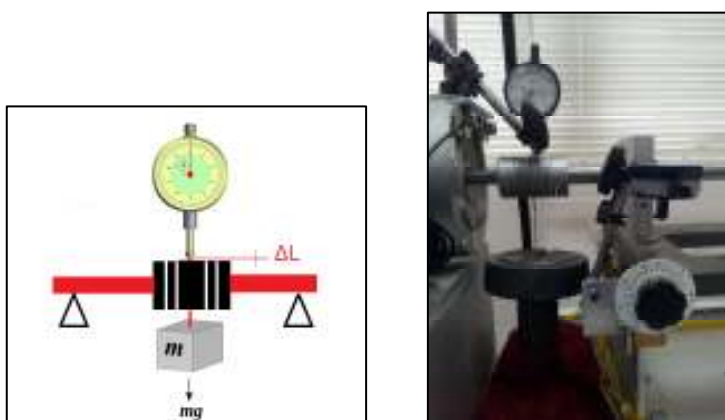
La rigidez es la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos.

Los coeficientes de rigidez son magnitudes físicas que cuantifican la rigidez de un elemento resistente bajo diversas configuraciones de carga. Normalmente la rigidez se calcula como la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la aplicación de esa fuerza.

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i}$$

Para la comprobación se utilizaron 2 cargas con masa conocidas, y se adicionó un reloj comparador en la parte superior para poder determinar el desplazamiento generado al aplicar las cargas.

Ya instalado el reloj comparador y las cargas (ver figura 9.1), se realizaron pruebas girando el eje cada 40 grados en busca de diferencias en el desplazamiento.



**Figura 9.1:** Procedimiento para la comprobación de rigidez del acople en banco de ensayo

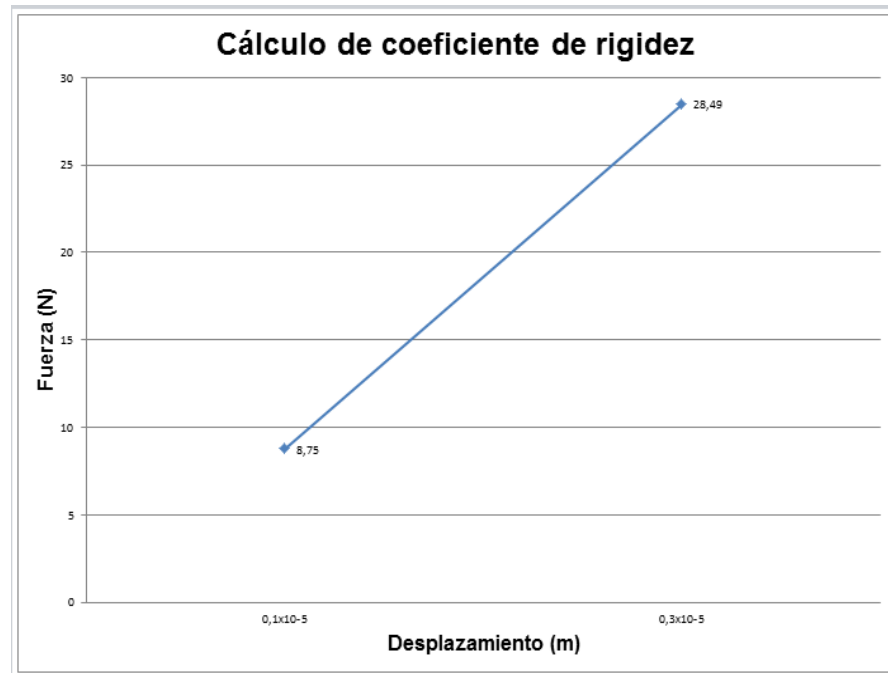
## 9.2) Conclusiones de la comprobación de rigidez

Una vez realizado el procedimiento de comprobación de rigidez del acople se obtuvo la siguiente tabla:

<b>Cálculo de coeficiente de rigidez</b>				
<b>Ángulo (grados)</b>	<b>F1 (N)</b>	<b><math>\delta^1</math> (m)</b>	<b>F2 (N)</b>	<b><math>\delta^2</math> (m)</b>
<b>0</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>40</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>80</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>120</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>160</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>200</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>240</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>280</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>320</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>360</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>Promedio</b>	<b>8,75</b>	<b><math>0,1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>28,49</b>	<b><math>0,3 \times 10^{-5}</math></b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



### Gráfico del coeficiente de rigidez del acople



$$K = \Delta f / \Delta \delta$$

$$K = 28,49 - 8,75 \text{ (N)} / (0,3 - 0,1) \times 10^{-5} \text{ (m)}$$

$$K = 9,87 \times 10^5 \text{ (N/m)}$$

Un cambio de rigidez del acople podría ocasionar que el comportamiento en las componentes generadas sea distinto.

## CONCLUSIONES

Posterior a haber efectuado mediciones y análisis de la respuesta vibratoria en la condición alineada y al ir variando el desalineamiento del banco ensayos SpectraQuest Mangnun podemos concluir que:

El equipo en la posición alineada con las trabas puestas (posición supuestamente alineada determinada por el fabricante) los valores RMS globales se encuentran fuera de la Norma ISO 2372.

A medida que aumenta el grado de desalineamiento angular los valores RMS globales aumentan. Esto se puede apreciar en los puntos 3 y 4. Concluyendo que mientras más desalineado este el equipo mayor serán los valores RMS globales.

En el desalineamiento paralelo no existe una relación clara a medida que aumenta el desalineamiento. Una de las posibles causas que genere este comportamiento es que el banco de ensayos en su posición actual no se encuentre alineado al instalar las trabas de posición que indicarían un alineamiento del motor con el eje. Debido a esto, se sugiere primero realizar un alineamiento del banco de ensayos y un estudio utilizando el método de order tracking, el cual permite realizar un análisis de la amplitud con respecto al ángulo de giro.

Al analizar los gráficos de los puntos por componentes, se indica que el comportamiento es variable y no como se encuentra en la literatura, por ejemplo la tabla de vibraciones SKF muestra que para el desalineamiento paralelo los valores mayores por componente son al 1x y 2x, en la práctica podemos observar, que es más notorio el comportamiento al 1x y 3x (como se observa en la gráfica de desalineamiento paralelo por componente del punto de medición número 4 (CH1)). Además el comportamiento es variable dependiendo de la velocidad de giro y punto de medición del banco de ensayos.

Al aumentar la velocidad de rotación del eje, los valores RMS globales aumentan al igual que las componentes, por ende si se desea disminuir los valores de las vibraciones de un equipo se podría bajar la velocidad de rotación.

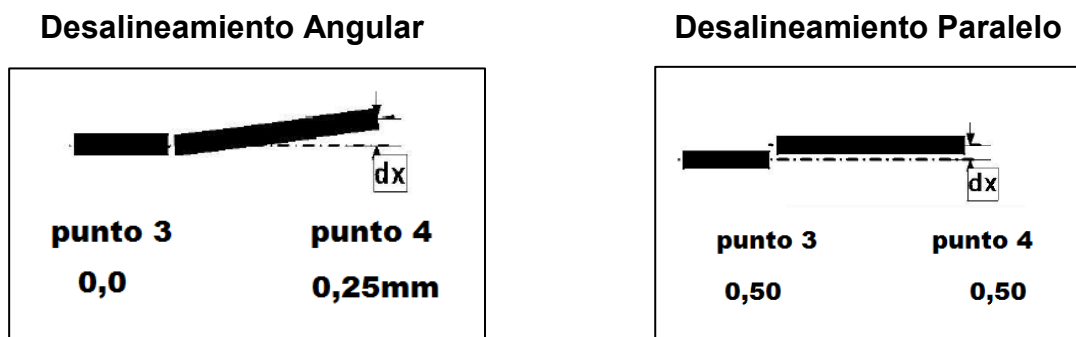
Existe una diferencia entre los valores RMS medidos en cada componente (vertical y horizontal), si se desarrolla un desalineamiento horizontal, los valores RMS globales de la componente vertical son menores que la componente horizontal.

Los puntos 1 y 2 del banco de ensayo correspondiente al motor no se ven notoriamente afectados los valores RMS a medida que aumenta el desalineamiento.

De acuerdo a la medición de la variación de rigidez del acople ésta no tendría variación en los valores RMS obtenidos, ya que el comportamiento de la rigidez del acople es constante.

Se sugiere realizar un estudio más detallado del comportamiento de la rigidez del banco de ensayos, y ver la posibilidad que quede instalado en una base más rígida para evitar las vibraciones que genera la mesa actualmente (mesa de madera).

La siguiente imagen ilustra la posible alineación del equipo según los datos medidos y analizados en los gráficos, donde se observaron los valores RMS más bajos.



## **BIBLIOGRAFIA**

SAAVEDRA González, Pedro. Curso Análisis de Vibraciones de Máquinas Categoría I. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Concepción, Chile.

SINAIS. Ingeniería de Mantenimiento [en línea] <<http://sinais.es/cursovibraciones>.  
Html.

Torres Cuevas, Ariel A. Estudio del desalineamiento entre máquinas acopladas y análisis de su respuesta vibratoria. Tesis (Ingeniería Mecánica). Concepción, Chile, Universidad del Bío Bío, 2013.

Hernández Daza, Gonzalo. Vibraciones Mecánicas. Tesis (Ingeniería Mecánica). Concepción, Chile, Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

Amu Molina, Eyson. Diseño e implementación de un banco didáctico para alineación de elementos rotativos. Tesis (Ingeniería Mecánica). Santiago de Cali, Colombia Universidad Autónoma de Occidente.

<http://www.ni.com/white-paper/5991/es/>

[http://www.vibratec.net/pages/tecnico\\_deslineamiento.html](http://www.vibratec.net/pages/tecnico_deslineamiento.html)

<http://confiabilidad.net/articulos/consideraciones-practicas-y-economicas-del-alineamiento-de-maquinaria/>



## ANEXO B

### Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio

Tipo de desalineamiento	Velocidad de rotación (Hz)	Puntos de medición	Desalineamientos	Canal	Nombre del archivo	Valor RMS	Valor RMS 1X	Valor RMS 2X	Valor RMS 3X
Base	15	3	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR15.05Hz Pto3 CH0	0,420649	0,270882	0,071143	0,0962008
Base	15	3	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR15.05Hz Pto3 CH1	2,46188	0,38032	0,246449	0,269633
Base	15	2	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR15.06Hz Pto2 CH0	0,484213	0,264009	0,0987112	0,0756145
Base	15	2	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR15.06Hz Pto2 CH1	0,725049	0,227925	0,245332	0,124473
Base	15	1	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR15.07Hz Pto1 CH0	0,534524	0,302522	0,0529634	0,0680557
Base	15	1	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR15.07Hz Pto1 CH1	0,65851	0,282438	0,233937	0,102455
Base	15	4	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR15.08Hz Pto4 CH0	0,382898	0,180482	0,0845693	0,142473
Base	15	4	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR15.08Hz Pto4 CH1	2,19643	0,437265	0,252907	0,256047
Base	25	1	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR25.05Hz Pto1 CH0	1,01271	0,520939	0,84571	0,0417152
Base	25	1	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR25.05Hz Pto1 CH1	0,689211	0,268239	0,607029	0,177336
Base	25	2	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR25.05Hz Pto2 CH0	1,12943	0,846812	0,670248	0,0592221
Base	25	2	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR25.05Hz Pto2 CH1	0,833139	0,376675	0,661495	0,199285
Base	25	3	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR25.06Hz Pto3 CH0	0,832951	0,640522	0,510054	0,0491329
Base	25	3	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR25.06Hz Pto3 CH1	3,86183	0,647524	0,474089	0,188533
Base	25	4	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR25.07Hz Pto4 CH0	1,30488	0,663853	1,15964	0,0917288
Base	25	4	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR25.07Hz Pto4 CH1	3,30613	0,728173	0,547073	0,271899
Base	35	1	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR35.02Hz Pto1 CH0	1,10977	1,04979	0,247874	0,0393507
Base	35	1	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR35.02Hz Pto1 CH1	2,3327	2,13015	0,828673	0,0483372
Base	35	3	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR35.03Hz Pto3 CH0	0,657738	0,646862	0,0527041	0,0755558
Base	35	3	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR35.03Hz Pto3 CH1	2,68921	0,508494	0,122462	0,21524
Base	35	2	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR35.04Hz Pto2 CH0	1,08344	0,983125	0,30728	0,259453
Base	35	2	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR35.04Hz Pto2 CH1	2,57866	2,49883	0,779967	0,0498517
Base	35	4	0 - 0	0	DA0.00-0.00um VR35.04Hz Pto4 CH0	0,507262	0,462541	0,179223	0,00674005
Base	35	4	0 - 0	1	DA0.00-0.00um VR35.04Hz Pto4 CH1	2,72643	1,01911	0,441222	0,175632
Angular	15	3	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR15.04Hz Pto3 CH0	0,439505	0,309882	0,0688415	0,0983007
Angular	15	3	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR15.04Hz Pto3 CH1	2,17556	0,28215	0,13483	0,235194
Angular	15	2	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR15.07Hz Pto2 CH0	0,438075	0,309949	0,0992116	0,0522942
Angular	15	2	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR15.07Hz Pto2 CH1	1,1708	0,198697	0,168263	0,0687069
Angular	15	4	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR15.07Hz Pto4 CH0	0,493132	0,238412	0,078363	0,141341
Angular	15	4	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR15.07Hz Pto4 CH1	2,20733	0,499954	0,137235	0,297012
Angular	15	1	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR15.08Hz Pto1 CH1	1,11261	0,207025	0,165685	0,544183
Angular	25	3	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR25.04Hz Pto3 CH0	0,906372	0,690093	0,609337	0,0464606
Angular	25	3	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR25.04Hz Pto3 CH1	3,47202	0,524841	0,488967	0,170509
Angular	25	4	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR25.04Hz Pto4 CH0	1,55439	1,06306	1,11755	0,0708336
Angular	25	4	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR25.04Hz Pto4 CH1	3,61108	0,539932	0,92146	0,182005
Angular	25	1	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR25.07Hz Pto1 CH0	0,84852	0,498058	0,61581	0,0283553
Angular	25	1	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR25.07Hz Pto1 CH1	1,09153	0,507894	1,00307	0,0302148
Angular	25	2	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR25.07Hz Pto2 CH0	1,12857	0,498058	0,61581	0,0283553
Angular	25	2	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR25.07Hz Pto2 CH1	1,33355	0,507894	1,00307	0,0302148
Angular	35	1	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto1 CH0	1,28792	1,25417	0,214284	0,0499284
Angular	35	1	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto1 CH1	1,09505	0,927631	0,533367	0,0693765
Angular	35	2	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto2 CH0	1,08546	1,00772	0,298162	0,155561

## ANEXO B

### Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio

Tipo de desalineamiento	Velocidad de rotación (Hz)	Puntos de medición	Desalineamientos	Canal	Nombre del archivo	Valor RMS	Valor RMS 1X	Valor RMS 2X	Valor RMS 3X
Angular	35	2	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto2 CH1	1,21049	1,03499	0,574587	0,054209
Angular	35	3	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto3 CH0	0,813591	0,781096	0,0676541	0,123179
Angular	35	3	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto3 CH1	2,95555	1,10539	0,410759	0,41746
Angular	35	4	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto4 CH0	0,898633	0,879902	0,187235	0,043875
Angular	35	4	0 - 0,15	1	DA0.00-15.00um VR35.04Hz Pto4 CH1	2,10192	0,647041	0,952754	0,224327
Angular	15	2	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR15.05Hz Pto2 CH0	0,335233	0,258918	0,0954981	0,0658082
Angular	15	2	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR15.05Hz Pto2 CH1	0,678063	0,274854	0,171545	0,10701
Angular	15	4	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR15.05Hz Pto4 CH0	0,487126	0,169536	0,0723956	0,183007
Angular	15	4	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR15.05Hz Pto4 CH1	1,01481	0,531159	0,136373	0,16843
Angular	15	3	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR15.06Hz Pto3 CH0	0,410392	0,246989	0,0671293	0,0899478
Angular	15	3	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR15.06Hz Pto3 CH1	1,0127	0,260049	0,0933813	0,147807
Angular	15	1	0 - 0,15	0	DA0.00-15.00um VR15.08Hz Pto1 CH0	0,486084	0,272785	0,0803961	0,135018
Angular	15	1	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR15.07Hz Pto1 CH1	0,70532	0,356004	0,163392	0,0624404
Angular	25	3	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR25.04Hz Pto3 CH0	0,790055	0,626311	0,441638	0,0429337
Angular	25	3	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR25.04Hz Pto3 CH1	1,56278	0,304822	0,238511	0,0982777
Angular	25	4	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR25.04Hz Pto4 CH0	1,0001	0,748367	0,634291	0,0562095
Angular	25	4	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR25.04Hz Pto4 CH1	1,56147	0,436201	0,314745	0,076949
Angular	25	1	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR25.06Hz Pto1 CH0	0,924698	0,551063	0,681062	0,0387146
Angular	25	1	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR25.06Hz Pto1 CH1	1,20337	0,313797	1,117	0,0700527
Angular	25	2	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR25.06Hz Pto2 CH0	1,10056	0,969305	0,567402	0,0427381
Angular	25	2	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR25.06Hz Pto2 CH1	1,39442	0,429096	1,27736	0,0622899
Angular	35	1	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR35.03Hz Pto1 CH0	1,06573	1,04073	0,178231	0,0350845
Angular	35	1	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR35.03Hz Pto1 CH1	0,918492	0,80337	0,424411	0,0269693
Angular	35	3	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR35.04Hz Pto3 CH0	0,706884	0,682971	0,0424032	0,0676436
Angular	35	3	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR35.04Hz Pto3 CH1	1,55028	0,358886	0,143224	0,0796814
Angular	35	4	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR35.04Hz Pto4 CH0	0,586339	0,536136	0,201546	0,0299959
Angular	35	4	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR35.04Hz Pto4 CH1	1,63379	0,55655	0,817798	0,0889036
Angular	35	2	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR35.06Hz Pto2 CH0	1,13837	1,1332	0,258185	0,110941
Angular	35	2	0 - 0,25	1	DA0.00-25.00um VR35.06Hz Pto2 CH1	1,05531	0,953696	0,35789	0,0924512
Angular	15	1	0 - 0,25	0	DA0.00-25.00um VR15.07Hz Pto1 CH0	0,582153	0,279095	0,0627139	0,0672754
Angular	15	1	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR15.07Hz Pto1 CH1	0,794418	0,214663	0,156841	0,0520508
Angular	15	2	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR15.08Hz Pto2 CH0	0,387688	0,307563	0,0937694	0,049745
Angular	15	2	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR15.08Hz Pto2 CH1	0,836476	0,199102	0,174845	0,0796383
Angular	15	3	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR15.08Hz Pto3 CH0	0,548763	0,33383	0,0674224	0,0548857
Angular	15	3	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR15.08Hz Pto3 CH1	2,58672	0,316448	0,13347	0,334374
Angular	15	4	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR15.08Hz Pto4 CH0	0,48301	0,242724	0,0926662	0,159642
Angular	15	4	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR15.08Hz Pto4 CH1	2,76621	0,43636	0,20749	0,275266
Angular	25	1	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR25.06Hz Pto1 CH0	0,921962	0,464383	0,765033	0,0372157
Angular	25	1	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR25.06Hz Pto1 CH1	1,55024	0,512307	1,43539	0,0230777
Angular	25	2	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR25.06Hz Pto2 CH0	1,07508	0,813759	0,647301	0,0330121
Angular	25	2	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR25.06Hz Pto2 CH1	1,54122	0,601947	1,32485	0,0282879
Angular	25	3	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR25.06Hz Pto3 CH0	1,08853	0,615517	0,980194	0,058802

## ANEXO B

### Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio

Tipo de desalineamiento	Velocidad de rotación (Hz)	Puntos de medición	Desalineamientos	Canal	Nombre del archivo	Valor RMS	Valor RMS 1X	Valor RMS 2X	Valor RMS 3X
Angular	25	3	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR25.06Hz Pto3 CH1	4,66251	0,641012	0,44713	0,361832
Angular	25	4	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR25.07Hz Pto4 CH0	1,5065	1,04692	1,16508	0,0816862
Angular	25	4	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR25.07Hz Pto4 CH1	4,21185	0,873947	0,534867	0,28337
Angular	35	1	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto1 CH0	1,21065	1,16652	0,231351	0,0525443
Angular	35	1	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto1 CH1	0,811149	0,722478	0,270665	0,0510292
Angular	35	2	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto2 CH0	1,05558	1,04774	0,281268	0,0779505
Angular	35	2	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto2 CH1	0,918185	0,858253	0,239045	0,0420777
Angular	35	3	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto3 CH0	0,698759	0,676821	0,0987913	0,095583
Angular	35	3	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto3 CH1	2,86092	1,17308	0,675798	0,390834
Angular	35	4	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto4 CH0	0,872371	0,832788	0,177253	0,0413056
Angular	35	4	0 - 0,35	1	DA0.00-35.00um VR35.04Hz Pto4 CH1	2,93713	0,515501	0,868146	0,268678
Angular	15	2	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR15.07Hz Pto2 CH0	0,410128	0,321521	0,0953035	0,0706892
Angular	15	2	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR15.07Hz Pto2 CH1	0,730832	0,184723	0,180197	0,070203
Angular	15	3	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR15.07Hz Pto3 CH0	0,442005	0,323758	0,0701595	0,0727619
Angular	15	3	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR15.07Hz Pto3 CH1	2,68655	0,452159	0,244985	0,320213
Angular	15	4	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR15.07Hz Pto4 CH0	0,336197	0,239201	0,0892604	0,150923
Angular	15	4	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR15.07Hz Pto4 CH1	2,18569	0,62614	0,109901	0,264857
Angular	15	1	0 - 0,35	0	DA0.00-35.00um VR15.07Hz Pto1 CH0	0,616737	0,254012	0,0640331	0,109239
Angular	15	1	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR15.09Hz Pto1 CH1	0,686297	0,195334	0,16429	0,0588995
Angular	25	4	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR25.05Hz Pto4 CH0	1,34678	0,943314	0,791255	0,0664604
Angular	25	4	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR25.05Hz Pto4 CH1	4,62473	0,787607	0,554872	0,253759
Angular	25	1	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR25.07Hz Pto1 CH0	0,950098	0,473063	0,787854	0,0347394
Angular	25	1	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR25.07Hz Pto1 CH1	1,55794	0,588682	1,48268	0,0663698
Angular	25	2	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR25.07Hz Pto2 CH0	1,28295	0,802936	1,10035	0,0490922
Angular	25	2	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR25.07Hz Pto2 CH1	1,82641	0,786276	0,570377	0,212467
Angular	25	3	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR25.07Hz Pto3 CH0	0,890631	0,459445	0,787854	0,0404707
Angular	25	3	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR25.07Hz Pto3 CH1	4,5554	0,583049	1,47825	0,0618046
Angular	35	1	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR35.04Hz Pto1 CH0	1,04858	1,16751	0,216535	0,0540865
Angular	35	1	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR35.04Hz Pto1 CH1	0,848665	0,720343	0,263743	0,0489281
Angular	35	2	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR35.04Hz Pto2 CH0	0,968902	1,04943	0,279681	0,0914888
Angular	35	2	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR35.04Hz Pto2 CH1	0,9409	0,857774	0,232554	0,058965
Angular	35	3	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR35.05Hz Pto3 CH0	0,769175	0,770827	0,0567362	0,0548441
Angular	35	3	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR35.05Hz Pto3 CH1	2,63128	0,348324	0,33275	0,255575
Angular	35	4	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR35.05Hz Pto4 CH0	1,01772	1,03152	0,156918	0,0507216
Angular	35	4	0 - 0,45	1	DA0.00-45.00um VR35.05Hz Pto4 CH1	2,65757	0,706196	0,352084	0,294949
Angular	15	1	0 - 0,45	0	DA0.00-45.00um VR15.09Hz Pto1 CH0	0,580503	0,340101	0,0572527	0,100078
Angular	15	1	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR15.07Hz Pto1 CH0	0,593725	0,346065	0,0633685	0,117929
Angular	15	1	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR15.07Hz Pto1 CH1	0,752502	0,179914	0,165321	0,0539226
Angular	15	2	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR15.07Hz Pto2 CH0	0,404108	0,357065	0,100261	0,0554678
Angular	15	2	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR15.07Hz Pto2 CH1	0,823468	0,181368	0,172431	0,0702687
Angular	15	3	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR15.09Hz Pto3 CH0	0,427631	0,331178	0,0645021	0,094041
Angular	15	3	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR15.09Hz Pto3 CH1	2,62901	0,575975	0,224564	0,324037



## ANEXO B

### Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio

Tipo de desalineamiento	Velocidad de rotación (Hz)	Puntos de medición	Desalineamientos	Canal	Nombre del archivo	Valor RMS	Valor RMS 1X	Valor RMS 2X	Valor RMS 3X
Angular	15	4	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR15.09Hz Pto4 CH0	0,423995	0,250142	0,079641	0,14819
Angular	15	4	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR15.09Hz Pto4 CH1	2,21454	0,614872	0,168764	0,182455
Angular	25	1	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR25.04Hz Pto1 CH0	0,959419	0,456296	0,797099	0,0393382
Angular	25	1	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR25.04Hz Pto1 CH1	1,64434	0,829527	0,70211	0,047591
Angular	25	2	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR25.05Hz Pto2 CH0	1,09206	0,833339	0,486845	0,0442753
Angular	25	2	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR25.05Hz Pto2 CH1	1,78523	0,657617	1,45774	0,0282718
Angular	25	3	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR25.07Hz Pto3 CH0	1,02771	0,658706	0,753988	0,0700083
Angular	25	3	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR25.07Hz Pto3 CH1	5,40348	0,596784	0,429669	0,278175
Angular	25	4	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR25.07Hz Pto4 CH0	1,56268	0,916503	1,31115	0,0873942
Angular	25	4	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR25.07Hz Pto4 CH1	3,98175	0,747002	0,751221	0,233144
Angular	35	1	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto1 CH0	1,13559	1,12219	0,202964	0,052642
Angular	35	1	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto1 CH1	0,833913	0,724137	0,30955	0,0415359
Angular	35	2	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto2 CH0	0,9982	0,957489	0,245184	0,116949
Angular	35	2	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto2 CH1	0,949219	0,879651	0,278512	0,0221839
Angular	35	3	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto3 CH0	0,71952	0,685469	0,0883085	0,061745
Angular	35	3	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto3 CH1	3,20152	0,30631	0,476595	0,26996
Angular	35	4	0 - 0,5	0	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto4 CH0	0,996205	0,994788	0,164972	0,0404392
Angular	35	4	0 - 0,5	1	DA0.00-50.00um VR35.04Hz Pto4 CH1	2,62666	0,615869	0,553	0,226462
Paralelo	15	3	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR15.06Hz Pto3 CH0	0,452555	0,291726	0,063256	0,111906
Paralelo	15	3	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR15.06Hz Pto3 CH1	2,2975	0,323173	0,151902	0,320861
Paralelo	15	4	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR15.06Hz Pto4 CH0	0,307543	0,219566	0,0732993	0,107761
Paralelo	15	4	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR15.06Hz Pto4 CH1	1,83326	0,27321	0,119026	0,225214
Paralelo	15	2	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR15.07Hz Pto2 CH0	0,561048	0,360062	0,0989272	0,0673817
Paralelo	15	2	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR15.07Hz Pto2 CH1	0,689884	0,239436	0,258028	0,117444
Paralelo	15	1	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR15.08Hz Pto1 CH0	0,539007	0,321524	0,0466186	0,0616699
Paralelo	15	1	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR15.08Hz Pto1 CH1	0,645467	0,313987	0,231073	0,0809108
Paralelo	25	1	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto1 CH0	1,06205	0,516137	0,88398	0,0523035
Paralelo	25	1	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto1 CH1	0,765758	0,387894	0,578855	0,206002
Paralelo	25	2	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto2 CH0	1,00096	0,718105	0,69676	0,0410076
Paralelo	25	2	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto2 CH1	0,893397	0,459931	0,725665	0,197871
Paralelo	25	3	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto3 CH0	0,824956	0,673646	0,453737	0,0379985
Paralelo	25	3	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto3 CH1	3,24212	0,584413	0,378895	0,211571
Paralelo	25	4	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto4 CH0	1,39529	0,902819	1,05732	0,0773388
Paralelo	25	4	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR25.06Hz Pto4 CH1	2,59515	0,526973	0,540778	0,191701
Paralelo	35	1	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto1 CH0	1,13443	1,0944	0,216109	0,033114
Paralelo	35	1	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto1 CH1	2,91232	2,81515	0,738968	0,0246302
Paralelo	35	2	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto2 CH0	0,952288	0,868833	0,31061	0,15904
Paralelo	35	2	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto2 CH1	3,155	3,06657	0,727498	0,0199634
Paralelo	35	3	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto3 CH0	0,767206	0,75876	0,0412871	0,04122
Paralelo	35	3	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto3 CH1	2,76907	0,440866	0,157287	0,117464
Paralelo	35	4	0,15 - 0,15	0	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto4 CH0	1,08227	1,07442	0,123581	0,0242511
Paralelo	35	4	0,15 - 0,15	1	DA15.00-15.00um VR35.03Hz Pto4 CH1	1,7789	0,694105	0,262918	0,0996839

# ANEXO B

## Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio

Tipo de desalineamiento	Velocidad de rotación (Hz)	Puntos de medición	Desalineamientos	Canal	Nombre del archivo	Valor RMS	Valor RMS 1X	Valor RMS 2X	Valor RMS 3X
Paralelo	15	1	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR15.07Hz Pto1 CH0	0,580248	0,308597	0,0722759	0,0653603
Paralelo	15	1	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR15.07Hz Pto1 CH1	0,701051	0,341039	0,173907	0,0771925
Paralelo	15	3	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR15.07Hz Pto3 CH0	0,50122	0,267975	0,0763071	0,0627834
Paralelo	15	3	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR15.07Hz Pto3 CH1	1,56042	0,368654	0,157624	0,263964
Paralelo	15	2	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR15.08Hz Pto2 CH0	0,329346	0,273059	0,103467	0,0652188
Paralelo	15	2	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR15.08Hz Pto2 CH1	0,706274	0,287849	0,199198	0,073082
Paralelo	15	4	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR15.08Hz Pto4 CH0	0,348522	0,160823	0,101485	0,110676
Paralelo	15	4	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR15.08Hz Pto4 CH1	1,76029	0,607888	0,113349	0,25403
Paralelo	25	1	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR25.05Hz Pto1 CH0	0,981903	0,542711	0,749968	0,0440839
Paralelo	25	1	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR25.05Hz Pto1 CH1	1,40481	0,329422	1,31541	0,0750934
Paralelo	25	2	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR25.05Hz Pto2 CH0	1,07213	0,937519	0,508774	0,0376324
Paralelo	25	2	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR25.05Hz Pto2 CH1	1,52793	0,454732	1,4567	0,0499436
Paralelo	25	3	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR25.05Hz Pto3 CH0	0,96186	0,573086	0,798243	0,0521119
Paralelo	25	3	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR25.05Hz Pto3 CH1	2,64798	0,691968	0,494312	0,338088
Paralelo	25	4	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR25.06Hz Pto4 CH0	1,07811	0,589163	0,894453	0,0832958
Paralelo	25	4	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR25.06Hz Pto4 CH1	2,24106	0,883649	0,434192	0,255664
Paralelo	35	3	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR35.03Hz Pto3 CH0	0,606114	0,56034	0,110079	0,110255
Paralelo	35	3	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR35.03Hz Pto3 CH1	2,96449	0,951961	0,860743	0,174216
Paralelo	35	4	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR35.03Hz Pto4 CH0	0,520473	0,460572	0,189642	0,0317504
Paralelo	35	4	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR35.03Hz Pto4 CH1	2,33299	0,911202	0,349821	0,143643
Paralelo	35	1	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR35.04Hz Pto1 CH0	1,05633	1,00814	0,198119	0,0349275
Paralelo	35	1	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR35.04Hz Pto1 CH1	0,916854	0,769907	0,44201	0,023121
Paralelo	35	2	0,25 - 0,25	0	DA25.00-25.00um VR35.04Hz Pto2 CH0	1,13921	1,10578	0,247798	0,116515
Paralelo	35	2	0,25 - 0,25	1	DA25.00-25.00um VR35.04Hz Pto2 CH1	1,05791	0,946248	0,421738	0,0363789
Paralelo	15	1	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR15.08Hz Pto1 CH0	0,588944	0,276402	0,0756983	0,121297
Paralelo	15	1	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR15.08Hz Pto1 CH1	0,752946	0,304897	0,184587	0,0596619
Paralelo	15	3	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR15.08Hz Pto3 CH0	0,508182	0,29466	0,069728	0,0491848
Paralelo	15	3	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR15.08Hz Pto3 CH1	0,650463	0,16968	0,120067	0,10373
Paralelo	15	4	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR15.08Hz Pto4 CH0	0,442361	0,186031	0,100839	0,185752
Paralelo	15	4	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR15.08Hz Pto4 CH1	0,783105	0,433451	0,122449	0,104563
Paralelo	15	2	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR15.09Hz Pto2 CH0	0,505854	0,260801	0,105921	0,0599459
Paralelo	15	2	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR15.09Hz Pto2 CH1	0,689202	0,254111	0,246587	0,104538
Paralelo	25	1	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR25.05Hz Pto1 CH0	0,956108	0,53135	0,789047	0,0545264
Paralelo	25	1	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR25.05Hz Pto1 CH1	1,60249	0,405141	1,61524	0,0542908
Paralelo	25	3	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR25.05Hz Pto3 CH0	1,09615	0,529772	0,974115	0,0775765
Paralelo	25	3	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR25.05Hz Pto3 CH1	0,995465	0,367415	0,389963	0,273468
Paralelo	25	2	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR25.07Hz Pto2 CH0	1,14139	0,79079	0,652116	0,0448671
Paralelo	25	2	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR25.07Hz Pto2 CH1	0,765568	0,395898	0,575671	0,174275
Paralelo	25	4	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR25.08Hz Pto4 CH0	1,35012	0,638391	1,16232	0,0746748
Paralelo	25	4	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR25.08Hz Pto4 CH1	1,10809	0,473272	0,766639	0,0726091
Paralelo	35	3	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR35.04Hz Pto3 CH0	0,579074	0,53918	0,111714	0,11315
Paralelo	35	3	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR35.04Hz Pto3 CH1	1,29936	0,701745	0,703539	0,119202

## ANEXO B

### Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio

Tipo de desalineamiento	Velocidad de rotación (Hz)	Puntos de medición	Desalineamientos	Canal	Nombre del archivo	Valor RMS	Valor RMS 1X	Valor RMS 2X	Valor RMS 3X
Paralelo	35	4	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR35.04Hz Pto4 CH0	0,661137	0,606823	0,212135	0,0557571
Paralelo	35	4	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR35.04Hz Pto4 CH1	1,42308	0,554193	1,103	0,128755
Paralelo	35	1	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR35.05Hz Pto1 CH0	1,2177	1,16071	0,247238	0,0680983
Paralelo	35	1	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR35.05Hz Pto1 CH1	0,85713	0,764227	0,342425	0,0307295
Paralelo	35	2	0,35 - 0,35	0	DA35.00-35.00um VR35.05Hz Pto2 CH0	1,04144	0,943833	0,294831	0,295278
Paralelo	35	2	0,35 - 0,35	1	DA35.00-35.00um VR35.05Hz Pto2 CH1	2,80465	2,64045	0,871102	0,033282
Paralelo	15	1	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR15.06Hz Pto1 CH0	0,552265	0,314005	0,050432	0,0685658
Paralelo	15	1	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR15.06Hz Pto1 CH1	0,64025	0,282886	0,164259	0,100835
Paralelo	15	2	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR15.07Hz Pto2 CH0	0,369869	0,2992	0,104774	0,0608876
Paralelo	15	2	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR15.07Hz Pto2 CH1	0,652401	0,253203	0,17568	0,0862569
Paralelo	15	3	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR15.07Hz Pto3 CH0	0,422196	0,320097	0,0629765	0,0848996
Paralelo	15	3	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR15.07Hz Pto3 CH1	2,68343	0,306233	0,163464	0,318523
Paralelo	15	4	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR15.07Hz Pto4 CH0	0,396452	0,230419	0,0804473	0,135986
Paralelo	15	4	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR15.07Hz Pto4 CH1	1,86031	0,355405	0,140194	0,228104
Paralelo	25	1	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR25.04Hz Pto1 CH0	1,04399	0,512639	0,865066	0,0363723
Paralelo	25	1	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR25.04Hz Pto1 CH1	1,16138	0,480927	0,990165	0,0701106
Paralelo	25	4	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR25.05Hz Pto4 CH0	1,23345	0,97097	0,622547	0,0590987
Paralelo	25	4	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR25.05Hz Pto4 CH1	2,79057	0,539785	0,41379	0,16646
Paralelo	25	2	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR25.06Hz Pto2 CH0	0,904054	0,745091	0,506215	0,0368244
Paralelo	25	2	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR25.06Hz Pto2 CH1	1,44941	0,553646	1,29857	0,0970544
Paralelo	25	3	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR25.07Hz Pto3 CH0	0,827474	0,642124	0,497529	0,0409543
Paralelo	25	3	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR25.07Hz Pto3 CH1	3,10791	0,669775	0,473509	0,281328
Paralelo	35	4	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR35.03Hz Pto4 CH0	0,958172	0,966473	0,153782	0,0342861
Paralelo	35	4	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR35.03Hz Pto4 CH1	2,23903	0,548935	0,691604	0,143227
Paralelo	35	1	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR35.04Hz Pto1 CH0	0,94296	0,92884	0,187634	0,0496109
Paralelo	35	1	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR35.04Hz Pto1 CH1	1,08643	0,971302	0,493818	0,0492002
Paralelo	35	2	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR35.04Hz Pto2 CH0	0,974747	0,906529	0,249899	0,154829
Paralelo	35	2	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR35.04Hz Pto2 CH1	1,02158	0,892824	0,48103	0,0271529
Paralelo	35	3	0,45 - 0,45	0	DA45.00-45.00um VR35.04Hz Pto3 CH0	0,735737	0,71463	0,0761012	0,0640362
Paralelo	35	3	0,45 - 0,45	1	DA45.00-45.00um VR35.04Hz Pto3 CH1	2,89371	0,264967	0,467212	0,331031
Paralelo	15	1	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um VR15.06Hz Pto1 CH0	0,546493	0,320792	0,0715709	0,0784715
Paralelo	15	1	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um VR15.06Hz Pto1 CH1	0,628508	0,299861	0,186313	0,127495
Paralelo	15	2	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um VR15.07Hz Pto2 CH0	0,337639	0,261931	0,103427	0,0768254
Paralelo	15	2	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um VR15.07Hz Pto2 CH1	0,628909	0,253887	0,20597	0,117688
Paralelo	15	3	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um VR15.07Hz Pto3 CH0	0,438093	0,266174	0,0779105	0,138614
Paralelo	15	3	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um VR15.07Hz Pto3 CH1	0,285736	0,170349	0,087505	0,0231048
Paralelo	15	4	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um VR15.08Hz Pto4 CH0	0,31586	0,179786	0,116566	0,152087
Paralelo	15	4	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um VR15.08Hz Pto4 CH1	0,516953	0,461286	0,120201	0,0400637
Paralelo	25	1	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um VR25.05Hz Pto1 CH0	1,06894	0,51522	0,905861	0,0604976
Paralelo	25	1	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um VR25.05Hz Pto1 CH1	1,10724	0,384475	0,984018	0,056746
Paralelo	25	3	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um VR25.05Hz Pto3 CH0	0,89702	0,600875	0,621366	0,075901
Paralelo	25	3	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um VR25.05Hz Pto3 CH1	0,416984	0,150436	0,321752	0,0234306

## ANEXO B

### Tabla de valores RMS obtenidos en laboratorio

Tipo de desalineamiento	Velocidad de rotación (Hz)	Puntos de medición	Desalineamientos	Canal	Nombre del archivo	Valor RMS	Valor RMS 1X	Valor RMS 2X	Valor RMS 3X
Paralelo	25	4	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um_VR25.05Hz_Pto4_CH0	1,29687	0,55404	1,10632	0,0811543
Paralelo	25	4	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um_VR25.05Hz_Pto4_CH1	0,803964	0,417844	0,584882	0,109219
Paralelo	25	2	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um_VR25.07Hz_Pto2_CH0	1,12586	0,924469	0,6016	0,0489872
Paralelo	25	2	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um_VR25.07Hz_Pto2_CH1	1,3038	0,510165	1,22342	0,0415863
Paralelo	35	1	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto1_CH0	1,07561	1,06209	0,232253	0,0737641
Paralelo	35	1	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto1_CH1	1,39297	1,23545	0,609779	0,0573488
Paralelo	35	2	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto2_CH0	1,11342	1,02161	0,269068	0,333133
Paralelo	35	2	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto2_CH1	1,47737	1,36018	0,604373	0,053186
Paralelo	35	3	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto3_CH0	0,613052	0,589352	0,0729684	0,0616869
Paralelo	35	3	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto3_CH1	0,607109	0,325194	0,243409	0,040551
Paralelo	35	4	0,5 - 0,5	0	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto4_CH0	0,812922	0,765627	0,235432	0,0364395
Paralelo	35	4	0,5 - 0,5	1	DA50.00-50.00um_VR35.04Hz_Pto4_CH1	1,28271	0,464995	1,16153	0,0368677