



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

## MEDICIONES VIBRATORIAS DE ALGUNOS FENOMENOS MECÁNICOS SOBRE UN BANCO DE ENSAYO DE MECANISMOS

Darian Visotsky<sup>1,2</sup>, Santiago Maíz<sup>1,2</sup>, Aldo D. Garofoli<sup>1</sup>, César A. Lanz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería- Universidad Nacional del Sur

<sup>2</sup> Laboratorio de Vibraciones Mecánicas Departamento de Ingeniería-  
Universidad Nacional del Sur

Avada Alem 1253 Bahía Blanca Argentina

Correo-e: [darian.visotsky@uns.edu.ar](mailto:darian.visotsky@uns.edu.ar)

[smaiz@uns.edu.ar](mailto:smaiz@uns.edu.ar)

[garofoli@uns.edu.ar](mailto:garofoli@uns.edu.ar)

[Clanz@uns.edu.ar](mailto:Clanz@uns.edu.ar)

### RESUMEN

Con el objetivo de mejorar la aprehensión del conocimiento, de los alumnos que asisten al cursado de la asignatura Mecánica Técnica II, materia del tercer año, segundo cuatrimestre, de la carrera Ingeniería Mecánica, se construyó en nuestra Universidad, un banco didáctico de prueba de mecanismos, donde se pueden efectuar ensayos de diversos elementos. En el presente trabajo, se muestran los resultados obtenidos al ensayar un motor acoplado a un eje mediante un acoplamiento elástico; además del instrumental de medición (acelerómetros, analizador de cuatro canales y una computadora para almacenar datos)

De este modo, se demuestra que se ha logrado el objetivo buscado, pues se observa la ocurrencia del fenómeno físico y se enseña, para los casos donde no se puede visualizar, uno de los métodos para detectar y corregir el problema. Éste conocimiento es muy utilizado en las técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo, en la vida profesional de un Ingeniero Mecánico.

**Palabras Claves:** Banco, Mecanismos, cavitación, mantenimiento predictivo

### 1. INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología ha permitido a los ingenieros que trabajan en la profesión, tanto en diseño, proyecto, cálculo y /o mantenimiento prever el comportamiento dinámico de esos equipamientos y la manera de controlarlo durante su vida útil. Para ello es necesario formar a los futuros ingenieros.

Dentro de las formas de transmisión del conocimiento, una de las más eficaces de aprender en ingeniería, es estar en contacto con el problema, observarlo, palparlo, medirlo. En mantenimiento predictivo, tarea muy común de la vida profesional de un Ingeniero Mecánico, uno de los métodos usado, es la determinación de espectros vibratorios para detectar fallas de funcionamiento, tales como cavitación en bombas o turbinas, desalineación o desbalanceo de árboles y ejes, fallas en rodamientos y todo otro accionamiento dinámico que genere efectos vibratorios.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

En base a estas premisas, es que se pensó en la construcción de un banco didáctico, que permitiera emular los fenómenos que se producen como consecuencia del comportamiento dinámico de sistemas mecánicos.

Bajo esta premisa, se diseñó un banco con distintos componentes necesarios para lograr los fenómenos que se deseaban mostrar, poder efectuar las correcciones luego de observar los distintos problemas generados [1, 2].

Logrado el diseño, se consiguieron los fondos necesarios a través de un subsidio de una fundación, para la adquisición de los equipos necesarios y con la participación de los técnicos y talleres de la Universidad se construyó el tan ansiado banco.

Completado el equipamiento, se realizaron los ensayos con resultados altamente satisfactorios. Uno de esos resultados, es motivo del presente trabajo.

El mismo será utilizado por alumnos de Ingeniería Mecánica en su formación técnica profesional.

## 2. EQUIPAMIENTO

El banco está constituido por un motor eléctrico trifásico de una potencia de .750Kw y 1500 rpm nominales, comandado por un variador de frecuencia o driver. El motor acciona mediante un árbol intermedio y este mediante una transmisión flexible, a una bomba centrífuga del tipo autocebante con tapa de material traslúcido conectada a un depósito instalado debajo de la mesa portátil; las interconexiones de la bomba con el depósito son también de material traslucido que permite ver la circulación del fluido y las variaciones que se producen en el mismo con las distintas estrangulaciones. Mediante otra conexión flexible se comanda un reductor de velocidad de dos ejes con engranajes de dientes rectos y este acciona un compresor de aire de desplazamiento positivo.

El equipamiento se completa con una lámpara estroboscópica equipada con cuentavueeltas, un analizador de vibraciones, VIBXPERT II PRÜFTECHNIK con su respectivo programa OMNITREND.

## 3 EXPERIENCIA

Dado que este trabajo tiene como objetivo mostrar una experiencia de laboratorio como recurso didáctico para la enseñanza de fenómenos dinámicos en la carrera de Ingeniería Mecánica, tanto las mediciones vibratorias como las consideraciones técnicas realizadas no tendrán la rigurosidad científica que un trabajo sobre la temática de vibraciones demandaría. Así, a los efectos hacer la lectura de este trabajo más amigable y para permitir la rápida identificación del objetivo buscado en cada experiencia, algunos datos técnicos o parámetros de medición serán soslayados.

### 3.1 Variación de la condición de equilibrado dinámico del rotor

La primera experiencia consistió en la verificación del cambio en los parámetros vibratorios de acuerdo a la variación del equilibrio dinámico del rotor. Se tomó como condición de funcionamiento base para la comparación al rotor sin ninguna masa agregada en las ruedas con orificios y una condición de alineación que se consideró aceptable. Esta condición base no fue óptima, ya que no se realizó un procedimiento de balanceo. Tanto el desbalanceo como la desalineación residual resultantes pudieron ser minimizadas, pero se optó por considerar esta condición como aceptable



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

para la realización de la experiencia, en vista de que los valores vibratorios obtenidos en las mediciones resultaron relativamente bajos.

Para el desbalanceo expofeso del rotor se colocaron dos masas de 12 gramos cada una, en los discos del Lado Acople y Lado Opuesto a Acople (Figura 1), en posiciones angulares indeterminadas, pero aproximadamente con  $90^\circ$  de diferencia relativa ente ambas. De esta manera, se obtuvo un desbalanceo de tipo dinámico, donde el eje principal de inercia resultó alabeado respecto al de la condición base. En los gráficos siguientes (Figs 2 a 5) se observan los espectros vibratorios tomados sobre los apoyos del árbol, en sentido radial horizontal y vertical. De acuerdo a la velocidad de funcionamiento del sistema y a los fenómenos que se buscaba visualizar, se consideró apropiado realizar las mediciones tomando el parámetro de velocidad vibratoria. Los espectros se encuentran dispuestos tipo cascada, siendo el espectro del plano posterior (trazo rojo) el correspondiente a la condición de funcionamiento base, y el del plano anterior (trazo azul) el de la condición de rotor desbalanceado



Figura 1: Banco de mecanismos



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

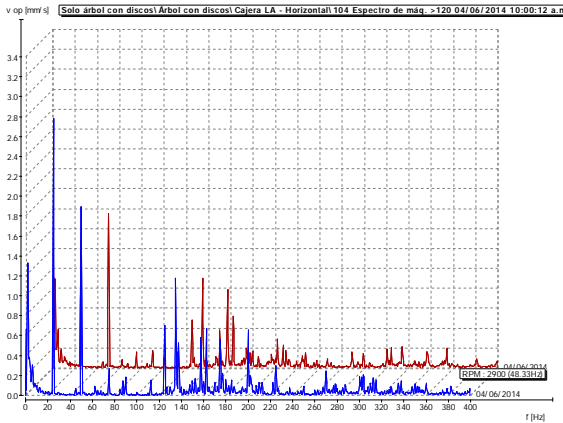


Figura 2: ROTOR - Apoyo LA – Horizontal

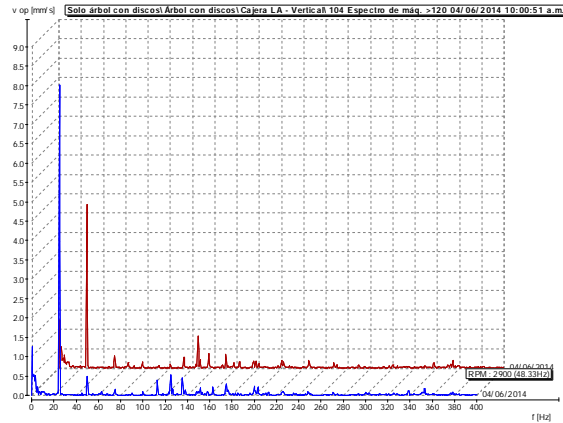


Figura 3: ROTOR - Apoyo LA – Vertical

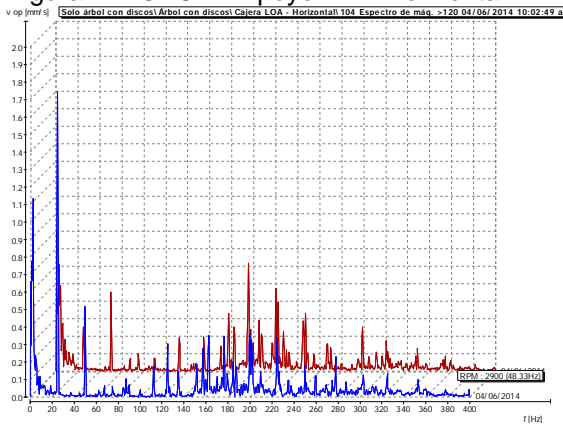


Figura 4: ROTOR - Apoyo LOA – Horizontal

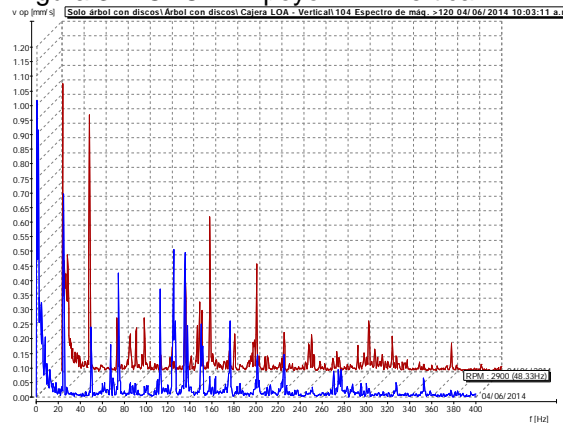


Figura 5: ROTOR - Apoyo LOA – Vertical

### 3.2 Variación de la alineación entre motor eléctrico y rotor

Para la variación en la alineación del conjunto rotante se procedió a desplazar el motor eléctrico, que es la máquina móvil en este caso, mientras que el rotor es la máquina estacionaria. El motor fue apartado de su posición inicial (condición de funcionamiento base) tanto en sentido vertical como horizontal, resultando una desalineación general o mixta, producto de la combinación de desalineación angular y offset o paralela. En las figuras siguientes (Figs 6 a 11) se muestran los espectros vibratorios en cascada de las mediciones tomadas bajo esta nueva configuración del conjunto rotante (plano anterior, trazo azul), contrastadas con la misma condición de funcionamiento base que se consideró previamente (plano posterior, trazo naranja). Cabe aclarar que los pesos de desbalanceo fueron removidos, de manera de analizar cada anomalía mecánica de manera independiente.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

# FoDAMI

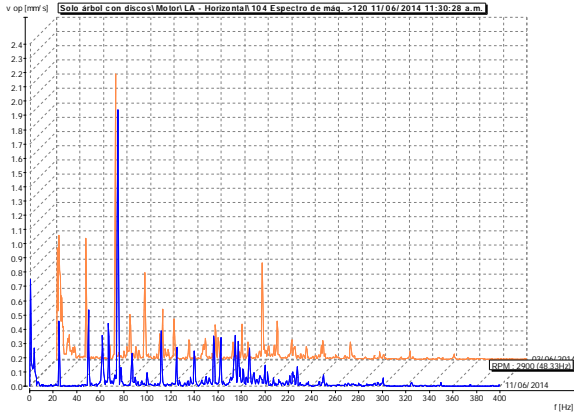


Figura 6: MOTOR - Apoyo LA – Horizontal

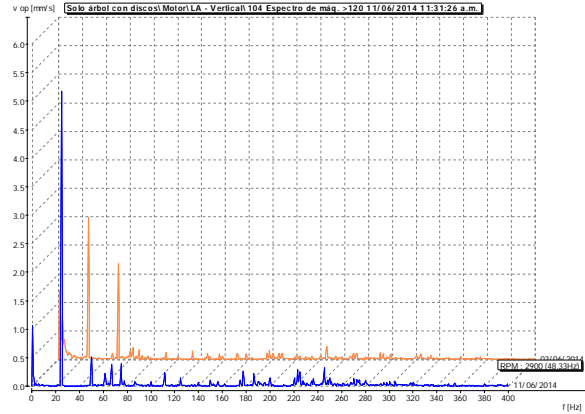


Figura 7: MOTOR - Apoyo LA – Vertical

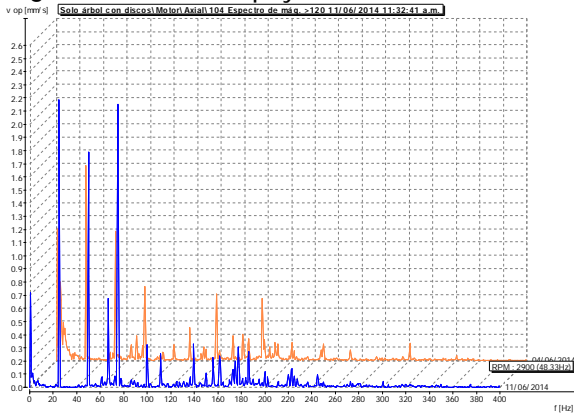


Figura 8: MOTOR - Apoyo LA – Axial

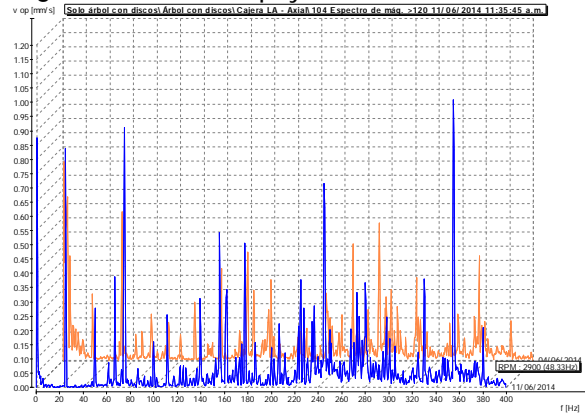


Figura 9: ROTOR - Apoyo LA – Axial

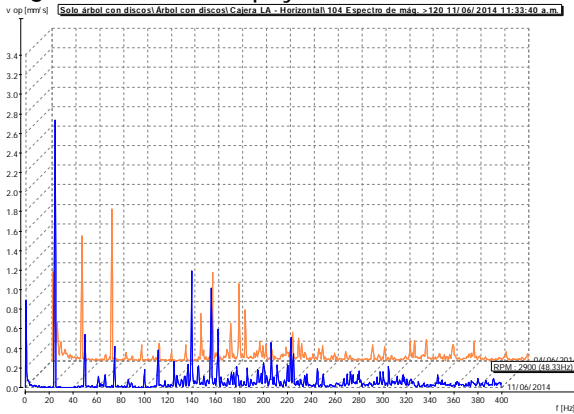


Figura 10: ROTOR - Apoyo LA – Horizontal

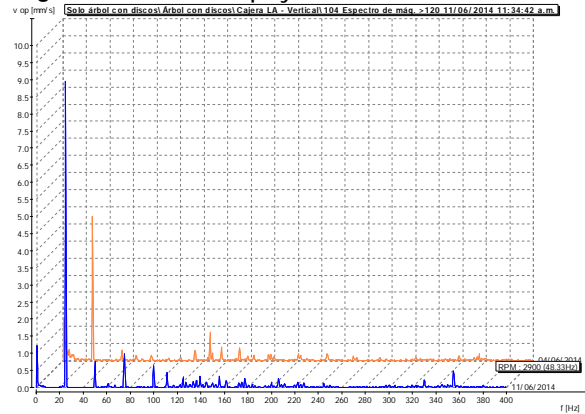


Figura 11: ROTOR - Apoyo LA – Vertical

Asimismo, se tomaron mediciones de la fase relativa entre las señales correspondientes a la frecuencia de giro a ambos lados del acoplamiento, es decir sobre el motor y el rotor. Para esto se utilizan los dos canales del colector de datos, con sendos acelerómetros en los puntos cuyas fases se desean contrastar; en este caso se consideraron de interés los puntos de medición cercanos al



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

acoplamiento (Lado Acolpe) sobre el motor y rotor, en los sentidos radial (horizontal y vertical) y axial. Los resultados de estas mediciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Fase relativa de la componente 1X a ambos lados del manchón de acople

		Horizontal	Vertical	Axial
Condición de funcionamiento base	Amplitud MOTOR - LA (mm/s)	0.54	2.39	1.32
	Amplitud ROTOR - LA (mm/s)	1.3	2.89	0.43
	Fase relativa (°)	326	192	161
Conjunto desalineado	Amplitud MOTOR - LA (mm/s)	0.42	5.09	2.1
	Amplitud ROTOR - LA (mm/s)	2.58	8.25	0.54
	Fase relativa (°)	84	178	168

## 4. CONCLUSIONES.

En los espectros vibratorios, en el ensayo de balanceo, se observa un incremento en la amplitud de la componente 1X (frecuencia de giro, 1500 rpm o 25 Hz), mientras que el resto de las componentes espectrales permanecieron prácticamente inalteradas. Este comportamiento es el propio esperable, ya que el desequilibrio dinámico introducido provoca fuerzas inerciales no compensadas que son contrarrestadas por reacciones en los apoyos; a su vez estas reacciones giran en sincronismo con las fuerzas inerciales, es decir a la velocidad de giro del árbol (1X), originando el incremento en el movimiento vibratorio de los apoyos a esta frecuencia. Sin embargo, las demás componentes vibratorias que obedecen a distintos fenómenos físicos (desalineación residual, excitaciones de los rodamientos, ruido eléctrico del motor y el variador de frecuencia, etc.) no son perturbadas por el cambio introducido al sistema, lo cual se puede explicar pensando al sistema mecánico como un sistema lineal en el que es aplicable el principio de superposición.

El análisis de los espectros vibratorios, en el ensayo de alineación, mostró variaciones en las amplitudes de las componentes 1X, 2X y 3X, tanto en sentido radial como axial, mientras que el resto de las componentes espectrales permanecieron inalteradas, al igual que en el caso de desbalanceo del rotor. En sentido radial (tanto horizontal como vertical) se observó en todos los casos un incremento de la amplitud de la componente 1X, mientras que las componentes 2X y 3X se vieron en general también incrementadas salvo, por ejemplo, los casos de las mediciones MOTOR – LA- Vertical y ROTOR – LA – Horizontal, donde la componente 2X disminuyó su amplitud. En sentido axial, el incremento en la amplitud de movimiento en estas tres primeras componentes resultó particularmente notorio, no tanto por los niveles absolutos alcanzados, sino por el cambio porcentual respecto a la condición base. En la Tabla 1 se observa claramente el incremento de los niveles vibratorios en la componente 1X, como también el abrupto cambio de fase de esta componente en el sentido horizontal. En los sentidos vertical y axial, los cambios de fase no resultaron tan notorios.

Los cambios en las características vibratorias entre las dos condiciones de funcionamiento expuestos en el párrafo anterior resultaron congruentes con el diagnóstico de desalineación del conjunto rotante [3]. El hecho de que se observaron incrementos en la componente radial 1X podría haber conducido a la conclusión de que el cambio en la condición de funcionamiento del conjunto rotante haya radicado en un desbalanceo del mismo, tal como se observó en el apartado anterior; sin embargo, existieron distintos indicios que desestimaron esta hipótesis. El primero fue



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

el hecho de que junto con la componente 1X, también se observaron cambios en las componentes radiales 2X y 3X, lo cual no sería propio de un desbalanceo si se puede considerar al sistema mecánico como un sistema lineal. En segundo término, estas componentes fueron particularmente afectadas en dirección axial, tanto sobre el motor como sobre el rotor, hecho que no es congruente con las afectaciones introducidas por el desequilibrio del rotor, el cual se manifiesta más notoriamente en sentido radial. Finalmente, los cambios en las mediciones de fase también son propios de un diagnóstico de desalineación, con lo cual la posibilidad de considerar al desbalanceo como probable causa de los cambios en el comportamiento vibratorio queda descartada.

## **REFERENCIAS:**

- [1] Lanz-garofoli-maiz Banco de ensayo de mecanismos Libro:Leonardo Plaun. Trabajos Caim 2012 1ª Edición. Ed. CEIT 2013 Pag. 533 a 538. ISBN 978-987-1978-05-5.2012..
- [2] Cristian Daniel Abarca Oballe, Diseño de un banco para simular mecanismos. Universidad de Talca – Chile- Facultad de Ingeniería. 2002
- [3] Lipovski, G., Solyomvari, K., Varga, G., Vibration Testing of Machines and their Maintenance, Elsevier 1990. ISBN 0444988084.1990.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A la Universidad Nacional Del Sur en particular Departamento de Ingeniería por apoyarnos en el proyecto. A la Fundación Agustín Roca por ofrecer la posibilidad de contar con los fondos necesarios. A Gabriel Leguizamón y al personal no docente de ésta casa, porque sin su cooperación sería imposible llevar a cabo este proyecto.