

SISTEMA DE MONITOREO DE FLUJO DE ENERGÍA PARA CENTRALES DE BOMBEO DE PETRÓLEO Y GAS

Dr. O. García Peyrano, Ing. L. Cismondi, Ing. H. Damiani, Ing. E. Torres
Laboratorio de Análisis de Vibraciones del Centro Atómico Bariloche-CNEA Instituto
Balseiro-Universidad Nacional de Cuyo, S. C. de Bariloche, Argentina.

Abstract

Por lo general, las técnicas de análisis de vibraciones se utilizan con fines de mantenimiento predictivo y/o protección de los equipos de bombeo de las distintas instalaciones de movimiento de fluido en el área del petróleo y el gas. Una visión diferente se expone en este trabajo que consiste en la visualización y post-procesamiento de los datos de operación y los provenientes de los dispositivos constitutivos de la máquina. Los primeros se vinculan con la economía del proceso en cuanto a la mayor disponibilidad obtenible y los segundos están relacionados con la calidad de las distintas etapas previas a la operación y a la operación misma.

En todos los casos la vigilancia de las máquinas mediante mediciones objetivas y el establecimiento de indicadores de funcionamiento permite el reconocimiento de desviaciones en el balance de energía de la máquina. La relación entre estas variaciones y el costo de la calidad puede expresarse a través del comportamiento dinámico de sus componentes.

En este trabajo se exponen las experiencias realizadas y los resultados obtenidos mediante las técnicas clásicas de análisis de vibraciones en bombas de petróleo. Además, se muestra cómo a partir de estos análisis surgió la necesidad de diseño y construcción de un nuevo rodete en pos de mejorar la economía en el bombeo, controlando la calidad del sistema mediante la vigilancia del comportamiento dinámico de los dispositivos del mismo (cojinetes, ejes y sellos) en proceso.

Introducción

El objetivo buscado por el mantenimiento predictivo de anticiparse a la falla en las máquinas rotantes es un tema común en la industria contemporánea. La motivación para ello reside en la necesidad de vigilancia de los costos de producción debido a principalmente al requerimiento de la competencia en el mercado. Es decir es importante anticiparse a la fallas y así evitar salidas de servicios no requeridas, y grandes desembolsos por roturas que van desde una característica aceptable hasta el tipo catastrófico, lo cual se logra con éxito aplicando correctamente la tecnología existente del análisis de vibraciones.

Resulta más importante aún desarrollar una ingeniería de diseño y construcción que desde el inicio prevea las fallas, es decir anticiparse mediante el diseño y la construcción a las solicitaciones que las máquinas tendrán en proceso y así lograr una respuesta de alto rendimiento durante su vida útil.

La tecnología actual del análisis de vibraciones también provee una cooperación insustituible mediante la experimentación en taller y en el campo, a los efectos de la investigación del comportamiento de los componentes constitutivos de las máquinas desde el punto de vista dinámico.

En este trabajo, se llevaron a cabo cinco ensayos de vibración sobre una bomba de petróleo: el primer sobre la carcasa, el segundo sobre un impulsor de baja de doble succión, el tercero sobre un impulsor de simple entrada, el cuarto sobre un sello montado en un banco de pruebas y el último sobre un eje.

Es de importancia recalcar que en ninguno de estos estudios se utilizaron modelos matemáticos, sino que, por el contrario, la filosofía escogida apuntó al trabajo netamente experimental. Es decir que las decisiones para la aceptación y/o rechazo de los componentes

estuvieron apoyadas en la adquisición de datos reales fuera de línea, el procesamiento matemático de las series temporales y el postprocesamiento basado en las ecuaciones de movimiento de cada uno de los componentes de la pieza.

El tratamiento de las series temporales en el dominio de las frecuencias permite obtener flujos de energía por componente. En el gráfico 1 se muestran dos diagramas de tortas donde se puede ver como cambia el flujo de energía al cambiar el estado del sello.

Metodología

Se utilizó la técnica de la función de transmisión, calculando el comportamiento en magnitud y fase de cada repuesta. Los datos son filtrados y promediados para enfatizar la parte útil de la respuesta. Esta información evaluada a partir del conocimiento de los principios que rigen el dispositivo y la tecnología constructiva del mismo permite configurar un esquema de análisis anticipativo.

Desarrollo

PRIMER ENSAYO

Respuesta en frecuencia de la estructura de una bomba de petróleo

En el primer ensayo se llevó a cabo un análisis de la respuesta en frecuencia de una bomba de petróleo.

Para realizar dicho análisis se colocó un sensor de aceleración fijo al collarín del lado accionado y mediante un martillo de impacto se excitaba la estructura de la bomba. De esta manera, mediante un procesamiento y análisis de las señales obtenidas se calculaba la respuesta en frecuencia de los componentes de la máquina.

Durante este ensayo se realizaron mediciones en diferentes localizaciones de la máquina.

RESULTADOS DEL PRIMER ENSAYO

En las figuras 1 a 7 se muestran los resultados obtenidos durante este ensayo.

SEGUNDO ENSAYO

Respuesta en frecuencia del impulsor de baja de doble succión

En el segundo ensayo se realizó un estudio de la respuesta en frecuencia de un impulsor de baja de doble succión.

Se utilizó un procedimiento similar al ensayo anterior.

RESULTADOS DEL SEGUNDO ENSAYO

Los resultados obtenidos durante este ensayo se pueden observar en las figuras 8 y 9.

TERCER ENSAYO

Respuesta en frecuencia del impulsor de simple succión

En este ensayo se repitieron las mediciones del anterior, pero en un impulsor de simple succión.

RESULTADOS DEL TERCER ENSAYO

En las figuras 10 y 11 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo realizado sobre el rodete de simple succión.

CUARTO ENSAYO

Ensayo dinámico del sello montado en un banco de pruebas

En el cuarto ensayo se montó el sello de la bomba en un banco de pruebas que simulaba las condiciones a las que estaba expuesto el sello durante el funcionamiento normal de la bomba.

Para este ensayo se utilizaron dos sensores diferentes: un acelerómetro y un detector de proximidad o eddy-probe. El acelerómetro se montó sobre la carcasa que contenía al sello, en diferentes posiciones y direcciones, que describiremos más adelante, mientras que el eddy-probe se fijó al banco mediante un soporte de manera de medir el desplazamiento del componente del banco que simulaba al eje de la bomba.

Se realizaron dos mediciones: en la primera se dejaba girar al eje sin perturbación externa y en la segunda se la producía al mismo un roce con un elemento ajeno al sistema (varilla metálica).

RESULTADOS DEL CUARTO ENSAYO

En la figura 12 se observa la respuesta temporal del sistema sin roce externo y en la figura 13 el espectro correspondiente a esta señal.

La señal temporal correspondiente al sistema con roce externo se puede ver en la figura 14 y el espectro calculado a partir de la misma en la figura 15.

A partir de la señal temporal, además del espectro en frecuencias, se calculó la probabilidad de ocurrencia o histograma de la misma, para ambos estados del sistema: con roce y sin roce. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 16.

QUINTO ENSAYO

Repuesta en frecuencia del eje

En este ensayo se realizó un análisis en frecuencias de la respuesta de un eje de una bomba de petróleo, para lo cual se usó una metodología similar a la del primer ensayo.

RESULTADOS DEL QUINTO ENSAYO

La respuesta en frecuencias del eje se puede observar en la figura 17.

Conclusiones

▪ Primer Ensayo

El sello responde activamente en las zonas de 1000-2000 hz y de 3000-5000 hz, lo cual es común en toda la máquina. Esto significa que con la máquina en operación el sello no tendría una rigidez adecuada lo que justifica pensar que luego de algunas horas de funcionamiento la pieza habrá estado sometida a una cantidad de ciclos de tensión que concluirán con la fatiga del material en los nodos determinados por la respuesta modal y forzada de la pieza.

▪ Segundo Ensayo

El rodete responde en forma sistemática con componentes frecuenciales que se hallan entre 2400 y 5400 hz. Resulta evidente la coincidencia con los rangos de respuesta de la bomba mostrados en el ensayo anterior.

▪ Tercer Ensayo

Los resultados son similares al caso anterior. Se puede observar que la banda de frecuencia de la respuesta tiene componentes que concuerdan con el resultado del primer ensayo correspondiente al sello, de acuerdo a los mostrados en la figura 6.

▪ Cuarto Ensayo

Un análisis en profundidad de las señales obtenidas indica que en la situación sin roce la actividad del sello es tal cual se esperaba del análisis de los resultados de los ensayos anteriores. Por otra parte con situación de roce se enfatizaban estos valores inclusive apareciendo algunas componentes que responderían a la frecuencia de paso de álabes en ciertas condiciones de operación de la máquina.

La probabilidad de ocurrencia o histograma de amplitud de los valores detectados por el sensor cambia lo suficiente para indicar una diferencia notable entre una situación de rotación con roce y sin roce. Si bien no existe una calificación en detalle que permita evaluar la fricción entre partes rotantes y fijas la información que brinda esta técnica de preprocesamiento permite anticiparse inequívocamente a una situación de rotura del sello mientras que la técnica clásica del análisis de vibraciones, tal cual se la aplica en los sistemas de mantenimiento predictivos, no tiene la misma actitud de anticipación (como referencia existe un trabajo anterior publicado en el 2^{do} Congreso Latinoamericano y del Caribe de Gas y Electricidad en Punta del Este, denominado: “*Monitoreo remoto de cojinetes de turbinas y compresores*”).

▪ Quinto Ensayo

El eje en condición suspendida presenta acoplamientos resonantes coincidentes con la respuesta del sello en toda la banda.

▪ Conclusiones Generales

Se entiende que cuando el sistema esté cargado con petróleo y presurizado las distintas respuestas en frecuencias va a cambiar, pero es de suponer que estos cambios no producirán una ventaja concreta. Es decir la máquina tendrá un comportamiento inestable, desde el punto de vista de todos los componentes estudiados precedentemente.

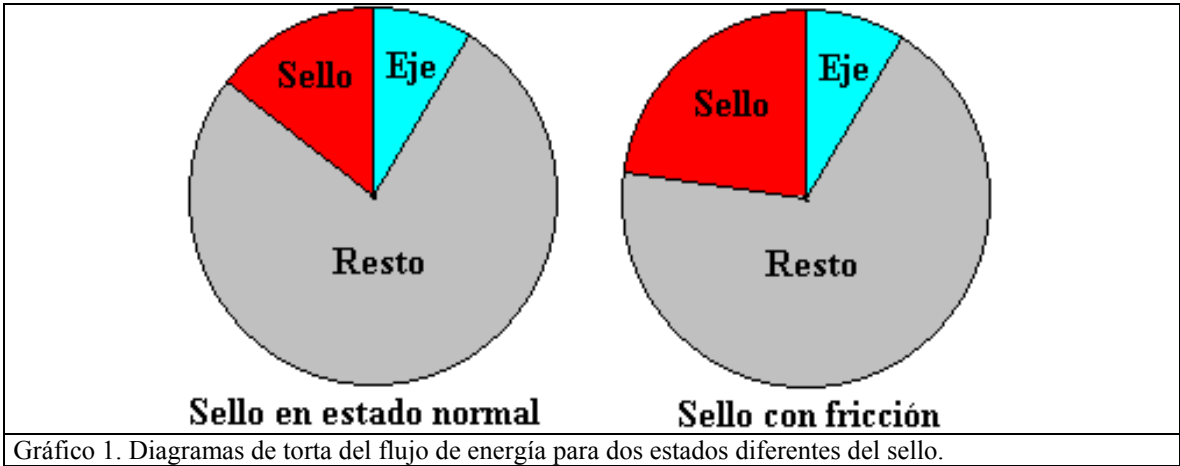
El sello es el más afectado y el más comprometido desde el punto de vista operativo del proceso y del medio ambiente, los demás componentes también se verán afectados de manera dinámica, pero su resistencia es a largo plazo, en cambio el sello posee una característica de estructura

liviana donde pequeñas desalineaciones comprometen su función y su integridad, siendo en este último caso de extrema importancia su correcto diseño e implementación.

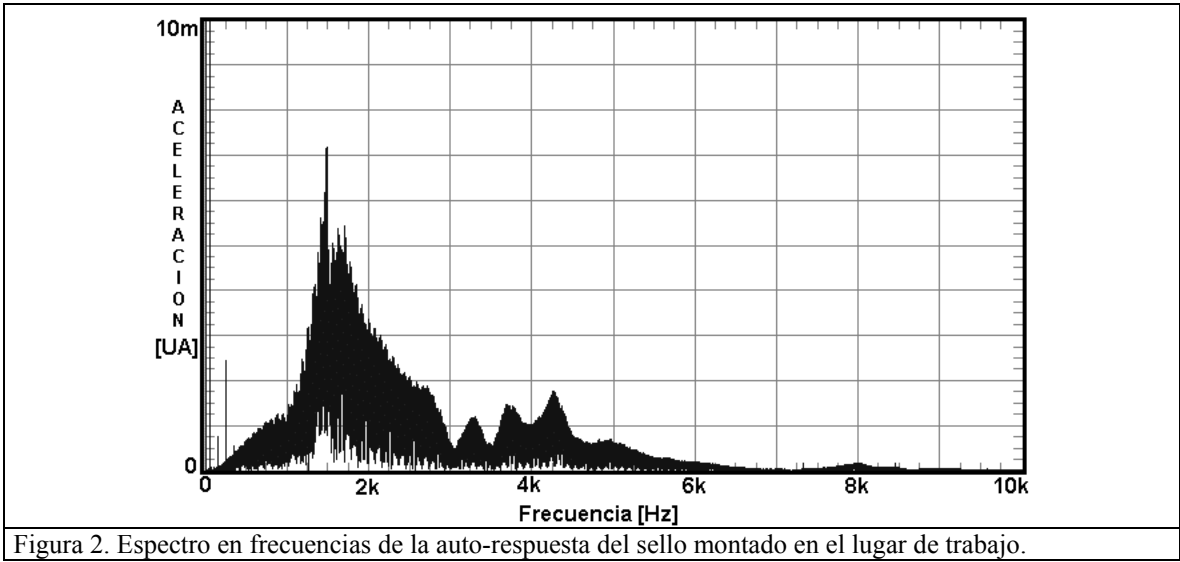
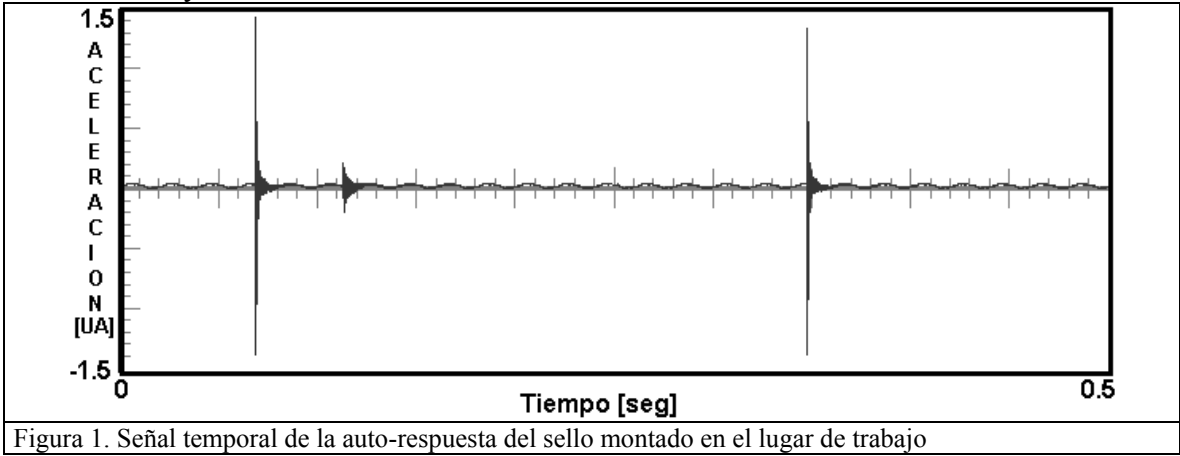
Un efecto real sobre el medio ambiente ocurre cuando el sello se rompe y el petróleo fluye al exterior de la máquina, contaminando el suelo y también el aire, luego de que toda la instalación se incendie. El costo de reparación de la instalación es considerable, por lo tanto la justificación para implementar estas tecnologías de inspección pre-servicio es altamente beneficiosa.

Como la principal fuente de excitación está asociada con la impulsión de petróleo, considerar el problema en la fuente significa considerar la construcción de un nuevo rodete con distinto número de álabes y además modificar el sistema de soporte de los resortes del sello (Ver figura 18).

Figuras



Primer Ensayo



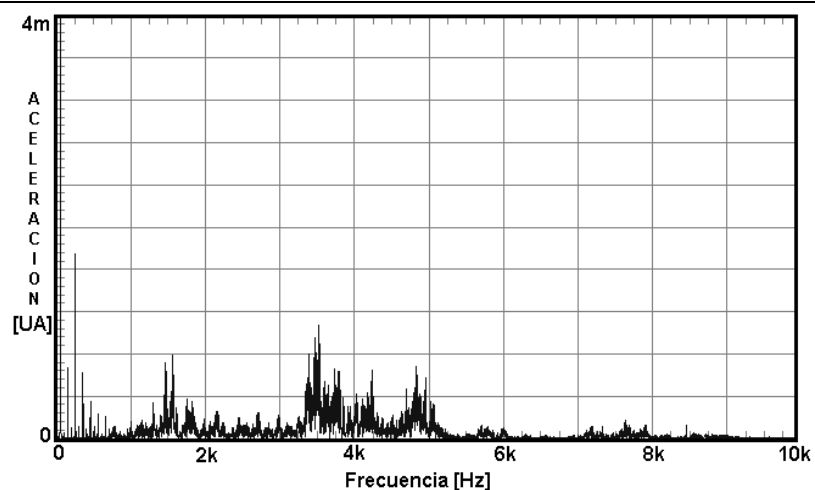


Figura 3. Espectro en frecuencias de la respuesta cruzada radial entre sellos .

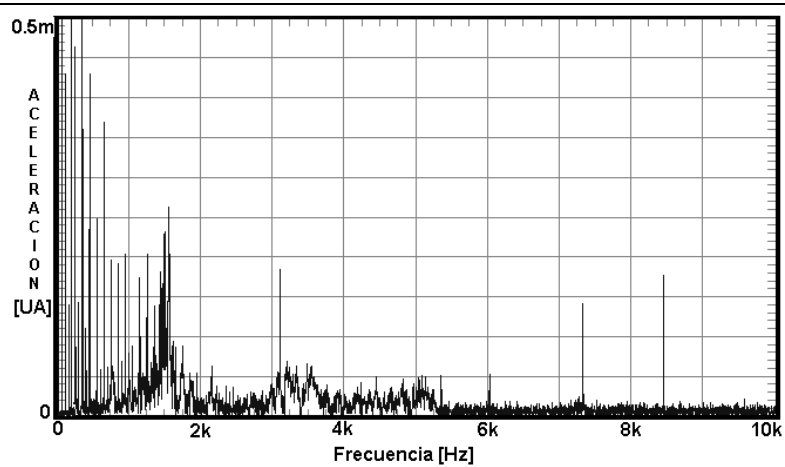


Figura 4. Espectro en frecuencias de la respuesta cruzada axial entre carcasa y sello.

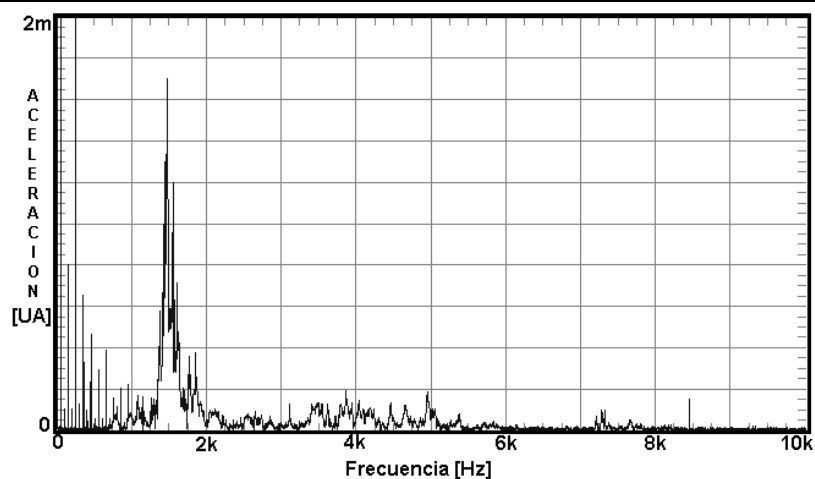


Figura 5. Espectro en frecuencias de la respuesta cruzada radial entre carcasa y sello.

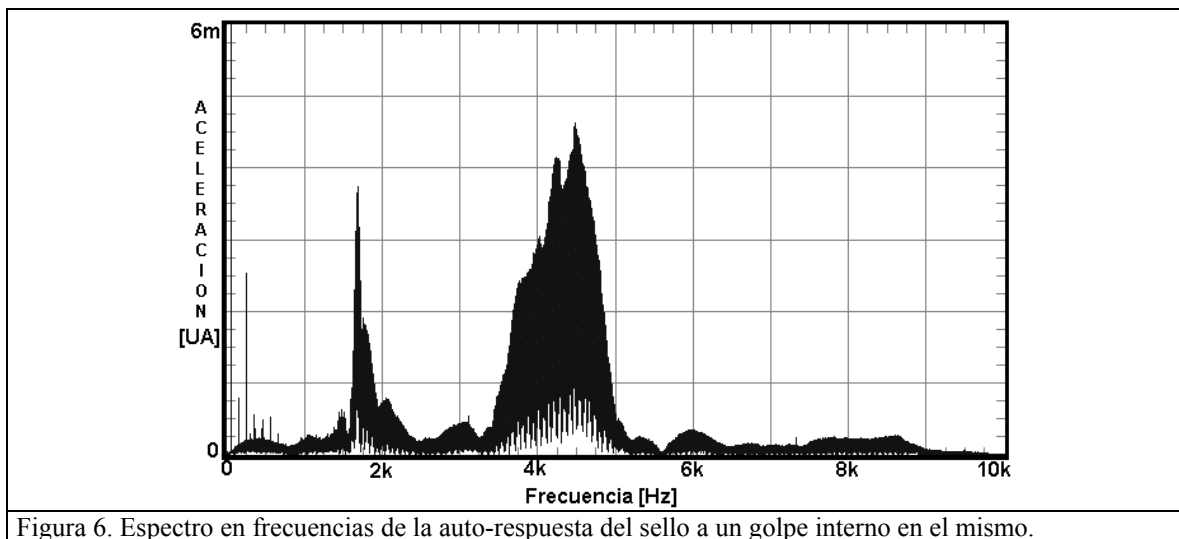


Figura 6. Espectro en frecuencias de la auto-respuesta del sello a un golpe interno en el mismo.

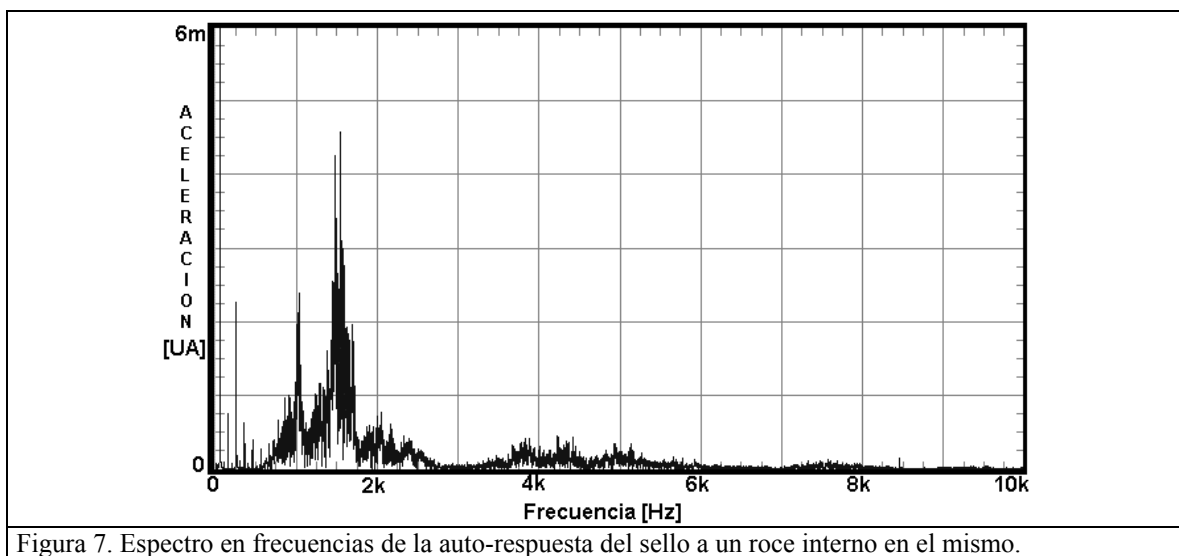


Figura 7. Espectro en frecuencias de la auto-respuesta del sello a un roce interno en el mismo.

Segundo Ensayo

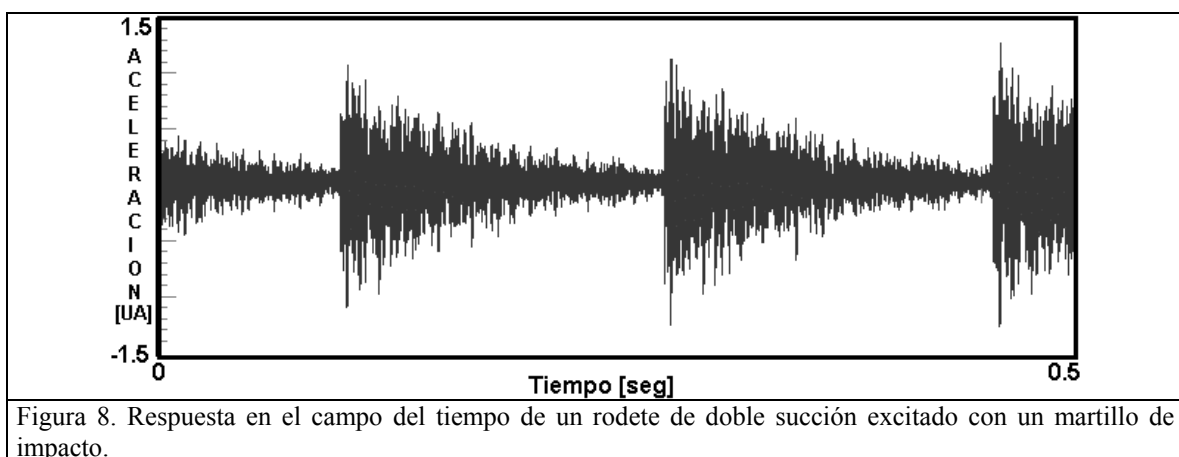


Figura 8. Respuesta en el campo del tiempo de un rodete de doble succión excitado con un martillo de impacto.

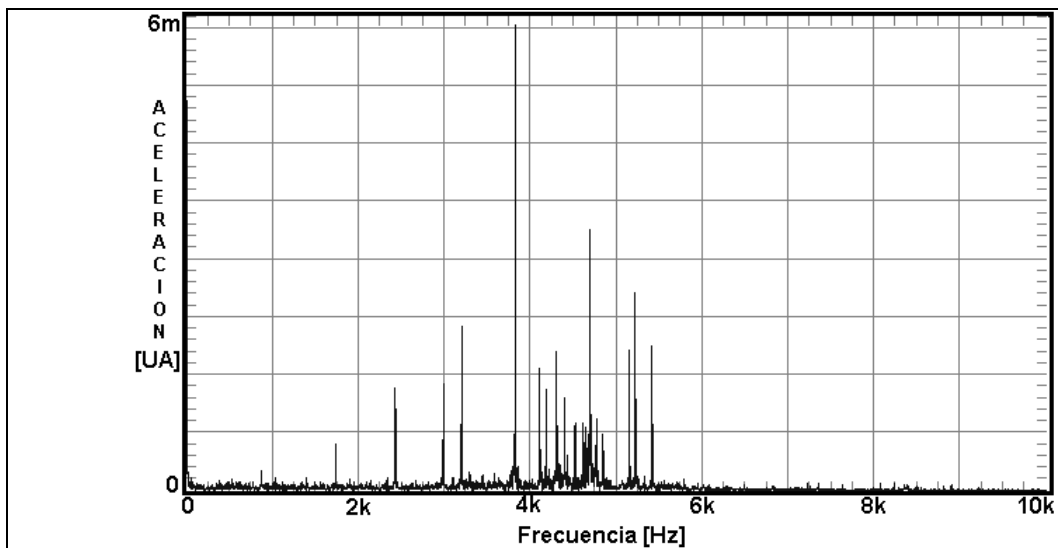


Figura 9. Respuesta en el campo de la frecuencia de un rodete de doble succión excitado con un martillo de impacto.

Tercer Ensayo

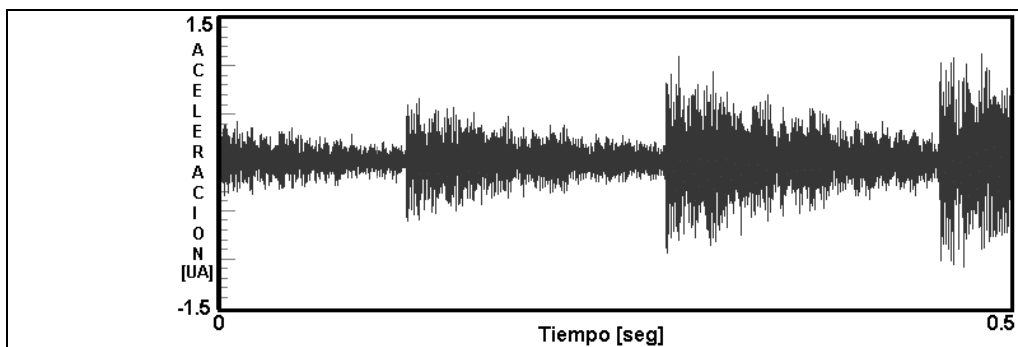


Figura 10. Señal temporal correspondiente a la excitación de un rodete de simple succión.

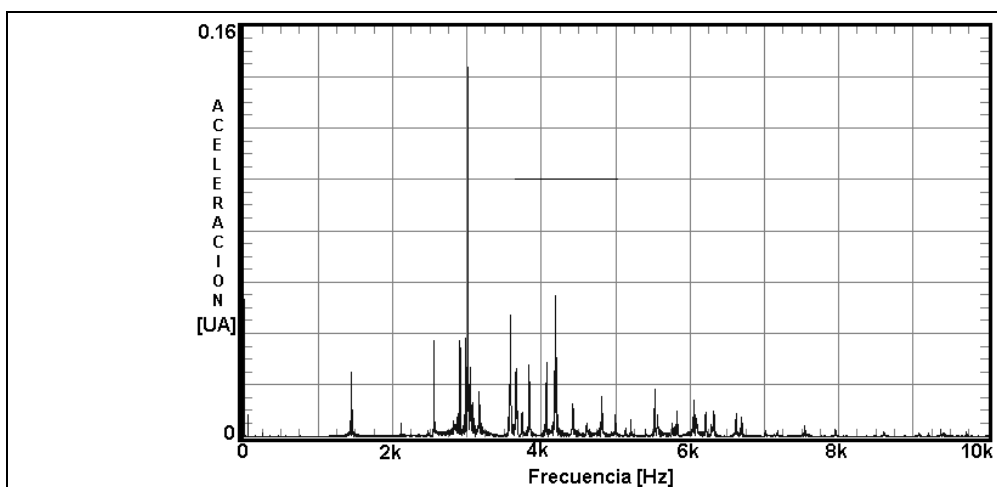


Figura 11. Espectro de la señal temporal correspondiente a la excitación de un rodete de simple succión.

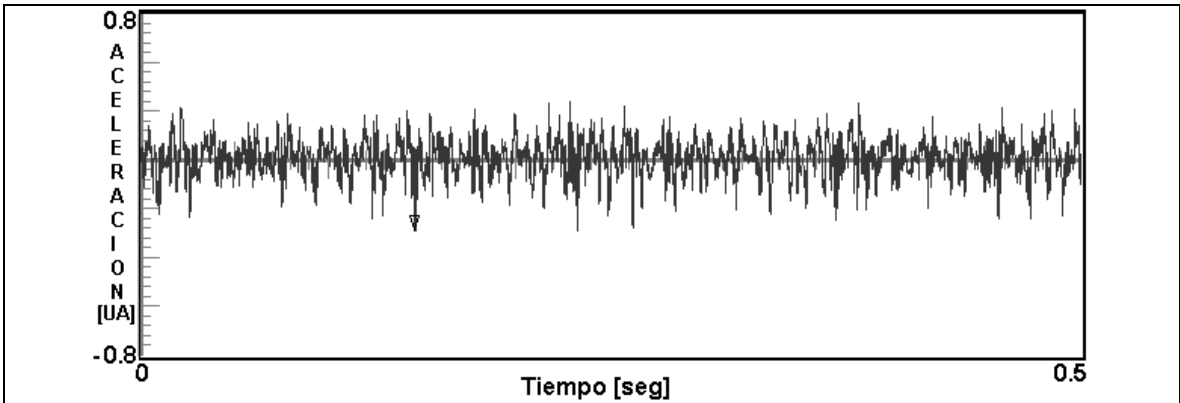


Figura 12. Respuesta temporal del sistema sin roce externo.

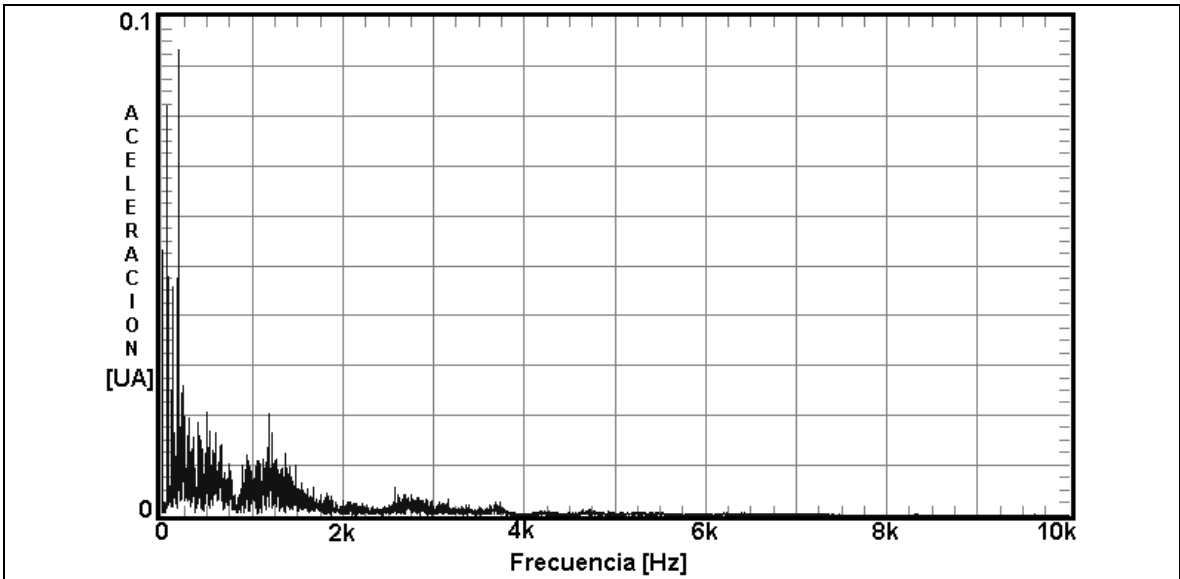


Figura 13. Respuesta en frecuencias del sistema sin roce externo.

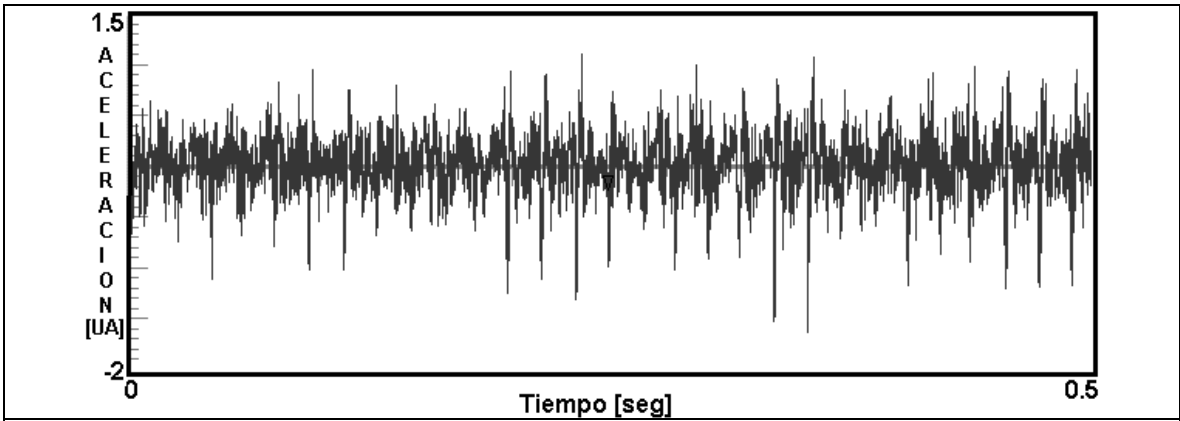


Figura 14. Respuesta temporal del sistema con roce externo.

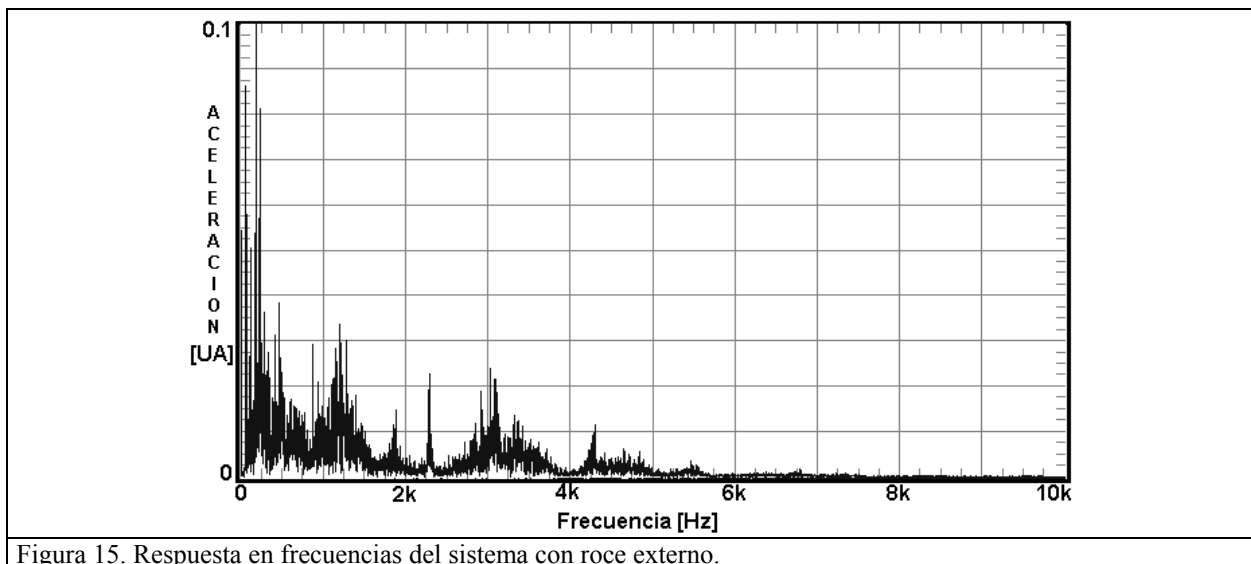


Figura 15. Respuesta en frecuencias del sistema con roce externo.

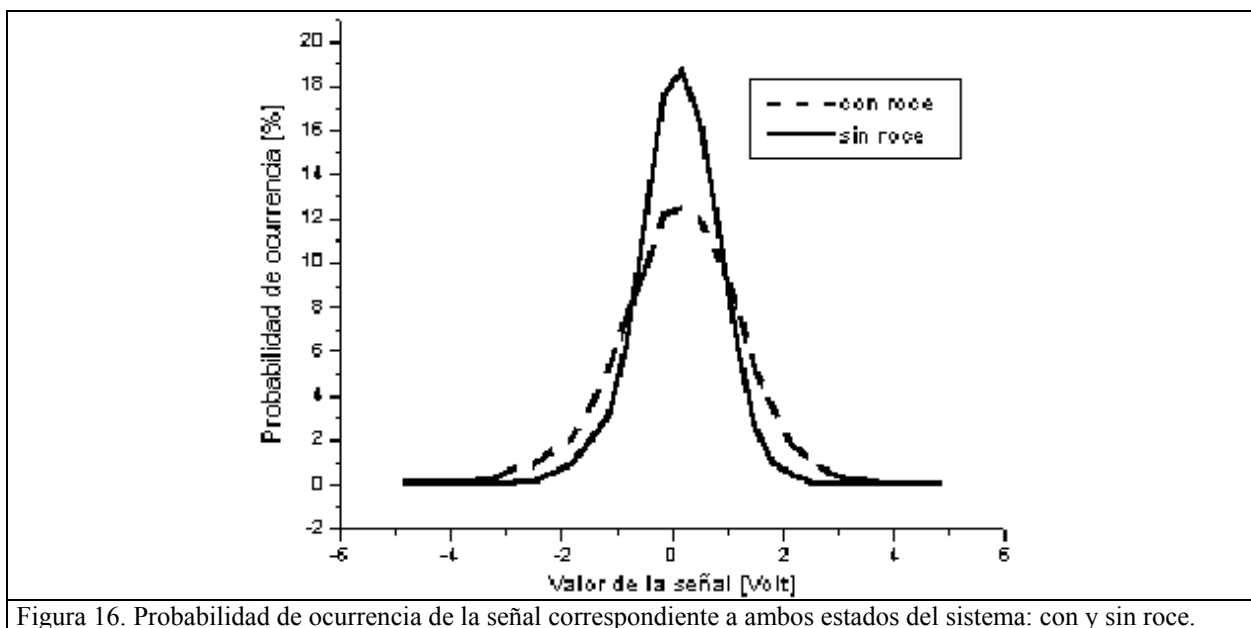


Figura 16. Probabilidad de ocurrencia de la señal correspondiente a ambos estados del sistema: con y sin roce.

Quinto Ensayo

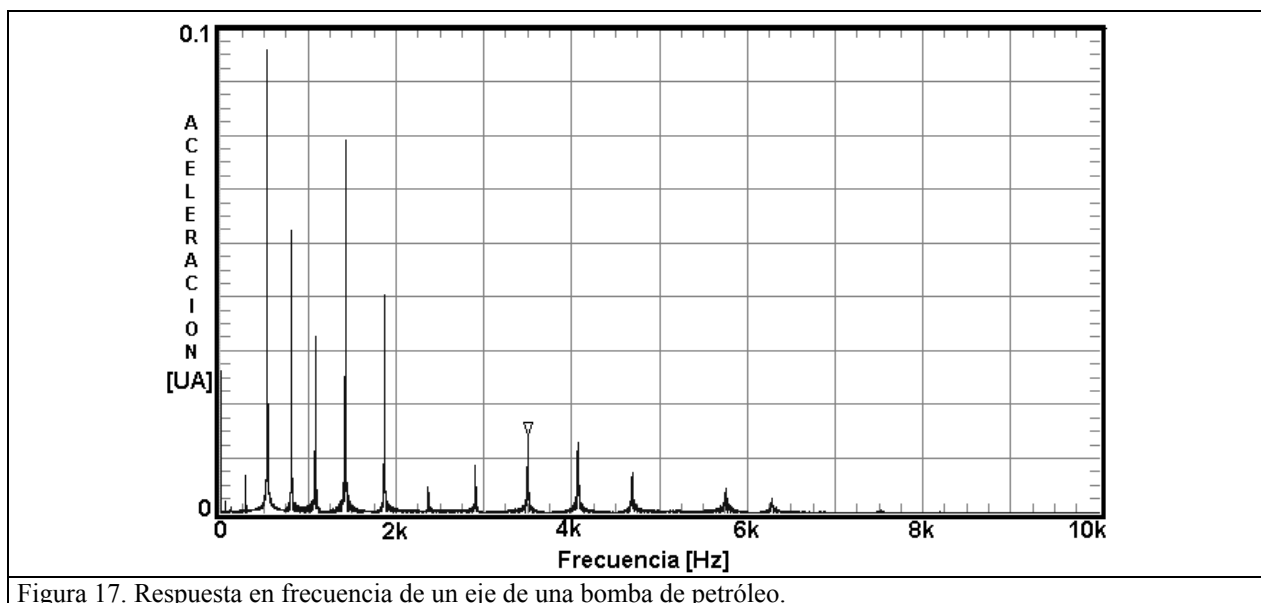


Figura 17. Respuesta en frecuencia de un eje de una bomba de petróleo.



Figura 18. Resultado del análisis. Construcción de un nuevo rodete.

Currículo de los autores

Apellido: García Peyrano

Nombre: Oscar

Fecha de Nacimiento: 19 de diciembre de 1949

Lugar: Córdoba, Córdoba.

Edad: 53 años

L.E.: 8.107.200

Domicilio: Av. Pioneros Km 4,750

e-mail: ustol@bariloche.com.ar

Nacionalidad: argentina

Estado Civil: casado

Cantidad de hijos: 4

Título Universitario: Ingeniero Electricista Electrónico

Universidad Nacional de Córdoba (F.C.E.F. y N.), 1976.

Título de Post-grado: Doctor en Ciencias de la Ingeniería.

Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Febrero 2003.

Tema: “Monitoreo de vibraciones de máquinas y mecanismos. Medición y pronóstico de la condición de Funcionamiento” bajo la dirección del Dr. J. C. Bolcich y el asesoramiento científico del Dr. J. Converti.

Trabajo actual

Jefe del Laboratorio de Análisis de Vibraciones y Mecatrónica, investigador, del Centro Atómico Bariloche - CNEA.

Director titular de Invap S.E. (empresa de tecnología nuclear, aeroespacial e industrial).

Director titular de Altec S.E. (empresa de tecnología de sistemas y computación).

Presidente de GP Signal Group (empresa de sistemas tecnológicos e industriales).

Presidente de Sitrack Vibes (empresa de monitoreo remoto).

Cargos docentes

Profesor adjunto de las materias: Introducción a la Electrotecnia, Instrumentación y Electrotecnia, Mecatrónica I y Mecatrónica II.

Apellido: Cismondi

Nombres: Leandro Martín

Fecha de Nacimiento: 27 de abril de 1974

Lugar: Gral. Cabrera, Córdoba.

Edad: 29 años

D.N.I.: 23983405

Estado Civil: soltero

Nacionalidad: argentino

Domicilio: Av. Bustillo 9500 - S. C. de Bariloche – Rio Negro - Argentina

e-mail: cismol@cab.cnea.gov.ar

cismol@ib.cnea.gov.ar

Título Universitario: Ingeniero Nuclear.

Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Junio 2001.

Equivalente a Master en Ciencias.

Post-grado

Durante el mes de Septiembre solicité la inscripción en la carrera de doctorado en Ciencias de la Ingeniería del Instituto Balseiro, en el tema: **“Análisis y Procesamiento de Señales de Sistemas de Ingeniería Aplicados a la Producción”**, bajo la dirección del Dr. Oscar García Peyrano y el Ing. José Relloso.

Trabajo actual

Actualmente me desempeño como investigador en el Laboratorio de Análisis de Vibraciones y Mecatrónica del Centro Atómico Bariloche – CNEA.

Cargos docentes

En el Instituto Balseiro me desempeñé en los cargos de ayudante de primera en las materias “Experimental I”, “Instrumentación y Electrotecnia” e “Introducción a la Electrotecnia”.

Apellido: Damiani

Nombres: Hermes Daniel

Fecha de Nacimiento: 19 de abril de 1975

Lugar: Villa María, Córdoba.

Edad: 28 años

D:N.I.: 24.579.019

Estado Civil: casado

Nacionalidad: argentino

Domicilio: Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500 - S. C. de Bariloche

e-mail: damianih@cab.cnea.gov.ar
damianih@yahoo.com

Título Universitario: **Ingeniero Nuclear.**

Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Junio 2000.

Equivalente a Master en Ciencias.

Post-grado

Estoy realizando mi doctorado en ciencias de la ingeniería en el Instituto Balseiro, en el tema: **“Análisis del comportamiento dinámico de ejes rotantes sometidos a diferentes excitaciones de proceso”**, bajo la dirección del Dr. Oscar García Peyrano y el asesoramiento científico del Dr. José Converti.

Trabajo actual

Actualmente me desempeño como investigador en el Laboratorio de Análisis de Vibraciones y Mecatrónica del Centro Atómico Bariloche – CNEA.

Cargos docentes

En el Instituto Balseiro me desempeñé en los cargos de ayudante de primera en las materias Mecatrónica II, Instrumentación y Electrotecnia e Introducción a la Electrotecnia.

Apellido: Torres

Nombres: Erica Elizabeth

Fecha de Nacimiento: 26 de diciembre de 1975

Lugar: Córdoba, Córdoba.

Edad: 27 años

D:N.I.: 24.841.931

Estado Civil: casada

Nacionalidad: argentina

Domicilio: Centro Atómico Bariloche, Av. Bustillo 9500 - S. C. de Bariloche

e-mail: torrese@cab.cnea.gov.ar
torresee@yahoo.com

Título Universitario: **Ingeniera Nuclear.**

Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Junio 2003.

Equivalente a Master en Ciencias.

Post-grado

Durante el mes de Septiembre solicité la inscripción en la carrera de doctorado en Ciencias de la Ingeniería del Instituto Balseiro, en el tema: “**Criterios de Ingeniería para el Diseño de Máquinas Adaptivas de Alta Eficiencia**”, bajo la dirección del Dr. Oscar García Peyrano y el asesoramiento científico del Dr. José Converti.

Trabajo actual

Actualmente me desempeño como investigadora en el Laboratorio de Análisis de Vibraciones y Mecatrónica del Centro Atómico Bariloche – CNEA.

Cargos docentes

En el Instituto Balseiro me desempeñé en el cargo de ayudante de primera en la materia Laboratorio I.