

Instrumento virtual para adquisición de datos, análisis y evaluación de sistemas dinámicos

Virtual instrument for data acquisition, analysis and evaluation of dynamic systems

HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo†*, GÓMEZ-NAVARRO, Carlos Antonio, FLORES-RAMÍREZ, Oscar y ROMERO-RODRÍGUEZ, Gabriel

Universidad Politécnica de Amozoc, Av. Ampliación Luis Oropeza No. 5202, Col. Las Vegas, Amozoc, Puebla. C.P. 72980, CN Servicios de Ingeniería, México.

ID 1^{er} Autor: *Erick Eduardo, Huesca-Lazcano* / ORC ID: 0000-0002-0505-8442, Researcher ID Thomson: F-1162-2018, CVU CONACYT ID: 223342

ID 1^{er} Coautor: *Carlos Antonio, Gómez-Navarro* / ORC ID: 0000-0002-9025-3567, CVU CONACYT ID: 513076

ID 2^{do} Coautor: *Oscar, Flores-Ramírez* / ORC ID: 0000-0001-9884-9499, Researcher ID Thomson E-8242-2018, CVU CONACYT ID: 92914

ID 3^{er} Coautor: *Gabriel, Romero-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0002-5124-3016, Researcher ID Thomson: Y-2756-2018, CVU CONACYT ID: 299737

DOI: 10.35429/JOTI.2020.14.4.27.44

Recibido 30 Julio, 2020; Aceptado 30 Diciembre, 2020

Resumen

En este trabajo, se realizó un programa para la adquisición y monitoreo de señales, con el propósito de evaluar el comportamiento de sistemas rotatorios. El programa de monitoreo se realizó en el software LabVIEW, en el cual se visualiza el comportamiento del sistema y se llevan a cabo los diferentes post-procesos de las señales adquiridas. Se eligió LabVIEW ya que permite manipular los datos obtenidos para utilizarlos en diversos post-procesos en diferentes programas, que es una de las principales ventajas que se tienen sobre otros sistemas, tal como, ADRE de Bently Nevada DAIU 208-P, el cual además, no permite acceso a los datos. Se explica en detalle el funcionamiento del programa diseñado, sus ventajas y los programas secundarios utilizados para los diferentes post-procesos. Se muestra la plataforma experimental en donde se realizaron las pruebas, mostrando las validaciones y el correcto funcionamiento del programa diseñado en LabVIEW, en comparación al sistema de monitoreo mencionado anteriormente ADRE. Por último, se ofrecen diversas posibilidades de ampliar las capacidades de este programa, estas opciones van desde el aumento de tipos de filtros utilizados para las señales, así como, la extracción de características no lineales, tal como el Máximo exponente de Lyapunov (LLE).

Abstract

In this work, a program for signal acquisition and monitoring was carried out, with the purpose of evaluating the behavior of rotating systems. The monitoring program was carried out in the LabVIEW software, in which the behavior of the system is visualized and the different post-processes of the acquired signals are carried out. LabVIEW was chosen because it allows manipulating the obtained data to be used in various post-processes in different programs, which is one of the main advantages that they have over other systems, such as ADRE of Bently Nevada DAIU 208-P, which also , does not allow access to data. The operation of the designed program, its advantages and the secondary programs used for the different post-processes are explained in detail. The experimental platform where the tests were carried out is shown, showing the validations and the correct operation of the program designed in LabVIEW, compared to the monitoring system mentioned above ADRE. Finally, various possibilities are offered to expand the capabilities of this program, these options range from increasing the types of filters used for signals, as well as extracting non-linear characteristics, such as the Largest Lyapunov Exponent (LLE).

Monitoreo de condición, Adquisición, Instrumentación

Condition monitoring, Acquisition, Instrumentation

Citación: HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, GÓMEZ-NAVARRO, Carlos Antonio, FLORES-RAMÍREZ, Oscar y ROMERO-RODRÍGUEZ, Gabriel. Instrumento virtual para adquisición de datos, análisis y evaluación de sistemas dinámicos. Revista de Invención Técnica. 2020. 4-14:27-44.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: erick.huesca@upamozoc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad es necesario monitorear el comportamiento de los equipos rotativos para encontrar y prevenir fallas, ya que existen diversos factores que pueden causar inestabilidad en dichos equipos, por lo cual se requiere un programa fácilmente adaptable y con la capacidad de funcionar con diversos tipos de sensores, elegibles de acuerdo con las condiciones del equipo rotativo. Además, debe facilitar la visualización de resultados, realizar los cálculos lo más rápido y directo posible de post-procesamientos para un diagnóstico más completo del funcionamiento del equipo, para corregir las inestabilidades y reducir las vibraciones lo más acertadamente posible.

Debido a que los datos en bruto no comunican información útil inmediatamente, el procesamiento de señales a menudo se necesita para transformar la señal, eliminar perturbaciones de ruido o compensar los efectos ambientales. Aquí aparece otra de las ventajas de realizar procesamiento de señales y análisis personalizado en el entorno de desarrollo integrado del software de desarrollo de sistemas NI LabVIEW. Esto permite conocer mejor la condición de máquinas o equipo para predecir desgaste mecánico y fallas. La vibración, el ruido y la temperatura son indicadores clave del estado de la máquina. Las tendencias en los datos pueden mostrar cómo prevenir una falla inesperada y una reparación costosa.

Este programa elaborado en LabVIEW brinda la oportunidad de monitorear máquinas rotativas con mayor precisión, mayor rapidez para ejecutar ciertos procesos, mucho menor costo (hablando de hasta 1 millón de pesos de diferencia) y además permite acceder a los datos en "bruto" y realizar diversos post-procesos con ellos, esto a diferencia del sistema ADRE de Bently Nevada, el cual además es más difícil de transportar en caso de ser necesario, sin olvidar mencionar el hecho de que el sistema ADRE requiere un equipo de cómputo muy específico para funcionar (en caso del sistema ADRE 208-P es un equipo de cómputo muy viejo), restando velocidad a su funcionamiento.

Tipos de sistemas de monitoreo y adquisición

Hay distintos sistemas de monitoreo del estado de vibración, pueden ser permanentemente instalados, semipermanentemente o equipo de medición portátil. La decisión del equipo que se utilizará depende de distintos factores tales como:

- La importancia de la operación de la máquina.
- Costo de tiempo de inactividad de la máquina.
- Costo de una falla catastrófica.
- Costo de la máquina.
- Tasa de progreso del modo de falla.
- Accesibilidad para reparar o dar mantenimiento (e. g. en plantas nucleares o lugares remotos).
- Accesibilidad a las posiciones de medición apropiadas.
- Calidad del sistema de medición/diagnóstico.
- Modos de Operación de la Máquina (e.g. velocidad, potencia).
- Costo del Sistema de Medición.
- Seguridad.
- Impactos Ambientales.

Sistemas permanentemente Instalados

Este tipo de sistemas son en los que los transductores, acondicionadores de señal, procesamiento de datos y almacenamiento de datos están permanentemente instalados. Los datos pueden ser recolectados ya sea continua o periódicamente. La aplicación de sistemas permanentemente instalados está normalmente limitada para máquinas costosas y críticas o para aquellas con tareas de monitoreo complejas.

Sistemas semipermanentes

Los sistemas semipermanentes son una unión entre los sistemas permanentes y los portátiles. En este tipo de sistemas los transductores generalmente están instalados permanentemente, mientras los componentes electrónicos de adquisición de datos están intermitentemente conectados.

Sistemas de monitoreo portátiles

Un sistema de monitoreo portátil desempeña funciones similares como el de un sistema en línea “continuo”, pero es menos detallado y normalmente menos costoso. Con este arreglo, los datos son guardados periódicamente ya sea automática o manualmente, con un recolector de datos portátil. Normalmente, los sistemas de monitoreo portátiles son usados para guardar mediciones manualmente en localizaciones preseleccionadas en la máquina en intervalos periódicos (semanalmente, mensualmente, etc.). Los datos son generalmente registrados y almacenados localmente en un recolector de datos portátil. Un análisis superficial preliminar se puede hacer inmediatamente; sin embargo, para un análisis y procesamiento más a fondo, los datos son descargados a una computadora personal que tiene un software especializado.



Figura 1 Analizador de vibraciones portátil
Fuente: Bently Nevada®

Recolección de datos

Recolección continua de datos

Un sistema de recolección de datos continuo es en el que los transductores de vibración están instalados permanentemente en puntos clave de la máquina y en los que las mediciones de vibración son normalmente grabadas y almacenadas continuamente durante la operación de la máquina.

Éste puede incluir sistemas de monitoreo de la vibración automáticos con conexiones multiplexoras siempre que la tasa de multiplexación sea suficientemente rápida para que datos significativos o tendencias no se pierdan. Los datos pueden ser procesados para dar ya sea información de banda ancha o de espectro que puede ser comparada con datos adquiridos previamente. Configurando “Alertas de límite” en los datos almacenados es posible informar al operador que el patrón de vibración de la máquina ha cambiado (la magnitud tiene ya sea incrementos o decrementos), y por lo tanto se recomiendan procesos de diagnóstico.

Un sistema de recolección de datos continuo puede ser instalado en el mismo sitio que la máquina para uso directo por el personal operador de la máquina, o puede ser instalado en un sitio remoto con datos transmitidos a un sitio de análisis de datos central. La principal ventaja de un sistema “continuo” es la disponibilidad del estado en tiempo real de la máquina disponible en línea. En un sistema automático, los transductores permanentes de vibración son instalados en la máquina casi de la misma manera que en los sistemas de monitoreo continuo. El sistema es programado para grabar y almacenar datos automáticamente. Los últimos datos son comparados con los datos previamente almacenados para así determinar si existe una condición de *alarma*.

Recolección de datos periódica

Para máquinas en las que los sistemas en línea no pueden estar justificados, sistemas portátiles son usados normalmente y estos son en la mayoría de los casos adecuados para monitoreo periódico.

Programas de monitoreo de estado

Descripciones claras de estados de operación, tales como velocidad, carga y temperatura, deben acompañar cualquier dato de vibración recolectado, como mínimo, tales descripciones deben incluir velocidad del eje (rpm) y carga de la máquina (potencia, flujo, presión, etc.) y cualquier otro parámetro que pueda afectar las vibraciones medidas.

En general, durante la adquisición de datos se hace gran énfasis en que las condiciones de operación se deben aproximar a las condiciones normales de operación de la máquina tan cerca como sea posible, para asegurar la consistencia y comparabilidad válida de los datos. Cuando esto no es posible, las características de la máquina deben ser bien conocidas de manera que se evalúe cualquier diferencia en datos.

Ya que el proceso de monitoreo del estado incluye el proceso de “tendencia”, que examina la tasa en que los valores de vibración cambian con el tiempo de operación, es muy importante que las condiciones de operación durante mediciones sucesivas permanezcan iguales, de manera que tales tendencias sean válidas. Los datos bajo otras condiciones pueden también necesitar ser recolectados dependiendo de la complejidad de la máquina y el propósito de la medición. Por ejemplo, cuando se sospechan problemas con desbalance, rozamiento, ejes fisurados o remolino de aceite, se recomiendan pruebas durante condiciones de operación transitoria tales como puesta en marcha y apagado.

Monitoreo de condición

National Instruments (NI)

El mantenimiento basado en condición puede ayudar a una organización a controlar el riesgo por interrupciones y fallas inesperadas, optimizar el rendimiento de máquinas y reducir tiempo de reparación y costos de mantenimiento. Por más de 15 años, NI ha proporcionado productos de hardware y software para resolver aplicaciones de monitoreo de condición en línea, diagnóstico portátil y pruebas de fábrica.

Las herramientas de NI han sido utilizadas en la industria para monitorear una gran variedad de equipo crítico y auxiliar incluyendo turbinas, compresores y generadores; y cómo los usuarios se han beneficiado de sus programas de mantenimiento predictivo.



Figura 2 Parte de equipo de National Instruments para monitoreo de condición

Fuente: National instruments®

Bently Nevada

ADRE para Windows/DAIU.

El “ADRE para Windows/DAIU” de “Bently Nevada” consiste en una unidad de interface de adquisición de datos “208-P” y el software “ADRE para Windows”, la unidad de adquisición de datos debe estar conectada a una computadora capaz de correr el software.

ADRE (Automated Diagnostics for Rotating Equipment), Sistema de Diagnóstico Automatizado para Equipo Rotatorio está específicamente diseñado para capturar datos de maquinaria, incorpora las características y las capacidades de osciloscopios, analizadores de espectro, filtros e instrumentos de grabación. Cuando se usa el sistema, los datos son presentados en la pantalla, es configurable para proporcionar soporte para transductores estándar y no estándar, incluyendo transductores de señales dinámicas y estáticas, y keyphasor u otras señales de velocidad de entrada, puede desplegar gráficas de: órbitas, órbitas/timebase, timebase, X vs Y (cualquier variable vs cualquier variable), tendencia, lista tabular, órbitas “Plus”, polar, bode, shaft centerline, full spectrum, hall spectrum, cascada y waterfall, además cuenta con ocho canales de entrada.



Figura 3 Sistema ADRE

Fuente: Bently Nevada®

Instrumentación

Instrumentación se define como el arte y la ciencia de la medición y el control de las variables de proceso dentro de un área de producción o fabricación.

Elementos de la instrumentación industrial tienen una larga historia. Escalas para la comparación de los pesos y punteros simples para indicar la posición son tecnologías antiguas. Algunas de las primeras mediciones fueron de tiempo. La integración de sensores, pantallas, grabadoras y controles era poco común hasta la revolución industrial, limitada por las necesidades y el sentido práctico.

El transistor fue comercializado a mediados de la década de 1950. Cada empresa de instrumentos introdujo su propia señal de instrumentación estándar, causando confusión hasta que se utiliza el rango de 4-20 mA como la señal del instrumento electrónico estándar para los transmisores y válvulas.

Esta señal fue finalmente estandarizada como ANSI/ISA S50, "Compatibilidad de señales analógicas de Instrumentos de Procesos Industriales Electrónicos", en la década de 1970. La transformación de la instrumentación de los transmisores mecánicos neumáticos, controladores y válvulas para instrumentos electrónicos reduce los costes de mantenimiento como instrumentos electrónicos eran más fiable que los instrumentos mecánicos. Esto también aumenta la eficiencia y la producción debido a su aumento de la precisión.

La próxima evolución de los instrumentos vino con la producción de sistemas de control distribuido que permitió el seguimiento y control desde múltiples ubicaciones que podrían ser ampliamente separados. Un operador de proceso podría sentarse delante de una pantalla y controlar miles de puntos a lo largo de un gran complejo. Un desarrollo estrechamente relacionado se denomina "Control de Supervisión y Adquisición de Datos". Estas tecnologías fueron apoyadas por las computadoras personales, redes e interfaces gráficas de usuario.

Instrumentación virtual

Algunas veces la realización de una medición requiere la intervención de varios instrumentos, unos generan estímulos sobre el dispositivo que se pretende medir y otros recogen la respuesta a estos estímulos. Este conjunto de instrumentos que hace posible la realización de la medición recibe el nombre de sistema de instrumentación. Todo sistema de instrumentación consta de instrumentos, un sistema de interconexión de estos y un controlador inteligente que gestiona el funcionamiento de todo el sistema y da las órdenes para que una medición se realice correctamente.

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la computadora personal PC, como una forma de reemplazar equipos físicos por software, permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando un instrumento real. El usuario manipula un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora, tiene sus características definidas por software, pero realiza las mismas funciones que un equipo real.

La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", y para ello se emplea un procesador que ejecute un programa específico. Este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas. En algunas ocasiones el usuario final del sistema de instrumentación sólo ve la representación gráfica de los indicadores y botones de control virtuales en la pantalla del ordenador.

El concepto de instrumentación virtual implica: adquisición de señales, el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales, interfaz gráfica hombre-máquina, visualización, monitoreo y supervisión remota del proceso, la comunicación con otros equipos, etc. Un sistema de instrumentación virtual está enfocado a los instrumentos encargados de medir señales, registrar datos y decidir las acciones de control. Evidentemente, se requiere de una etapa de actuación, que conforma la interfaz entre la computadora y el sistema a controlar y requiere drivers de potencia o transductores de señal especiales.

Además, existen otras etapas auxiliares que no intervienen en el proceso de medida, como es el caso del subsistema de alimentación.

Los inicios de la instrumentación controlable desde una computadora, y de hecho de los sistemas de instrumentación, se sitúan a mediados de los años 60 cuando Hewlett Packard, desarrolló su bus para instrumentación HP-IB (Hewlett Packard Interface Bus) que permitía conectar su gama de instrumentos programables a una PC. Esta interfaz ganó rápidamente gran popularidad y en 1975 fue aceptada como un estándar: el IEEE488.

Desde aquellos días hasta ahora el estándar ha sufrido varias modificaciones y el bus GPIB (acrónimo de General Purpose Interface Bus, por el que se le conoce habitualmente) se ha convertido en uno de los más populares en el campo de la instrumentación programable. La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments en el año 2001, los cuales crearon un software que le permitía a la computadora realizar mediciones. Basado en el significado del término "virtual" (existencia aparente), al utilizar la PC como "instrumento" es el usuario mismo quién, a través del software, define su funcionalidad y "apariencia" (mediante herramientas informáticas), cambiando el despiece mecánico por un despiece informático. Por ello que se dice que se "virtualiza" el instrumento, ya que su funcionalidad puede ser definida una y otra vez por el usuario y no por el fabricante.

Desarrollo del instrumento virtual: Hardware

Plataforma de pruebas instrumentada

En esta sección se explican las características de la plataforma experimental la cual se llevó a cabo en el "Laboratorio de Vibraciones y Rotodinámica" del IPN en la Sección de Estudios de Postgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco. En la figura 3.1 se muestra la plataforma experimental en la cual se realizaron las pruebas, mejor conocido como Machine Fault Simulator.

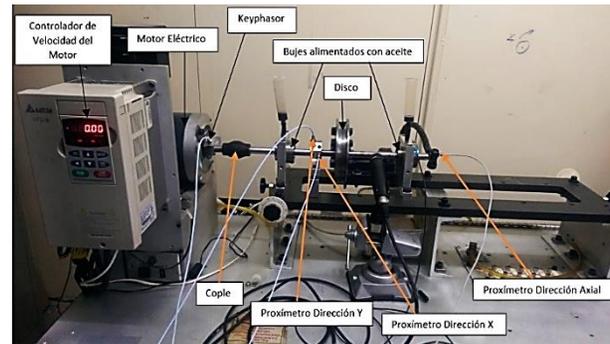


Figura 4 Plataforma experimental instrumentada
Fuente: Elaboración propia

En el Laboratorio de Vibraciones y Rotodinámica se cuenta con instrumentos y equipos de pruebas especializados. En esta plataforma se utilizaron dos equipos de adquisición de datos, el primero es el sistema ADRE de GE-Bentley Nevada, el cual es un equipo especializado para el análisis de vibraciones, el cual cuenta con varias ventanas de post-proceso, pero no se tiene acceso a los datos que se adquieren, por lo cual no se pueden manipular si se requieren para otro proceso y sólo cuenta con ocho entradas de sensores de su misma marca, lo cual lo hace un equipo muy cerrado en cuanto a su funcionalidad. Por otro lado, se cuenta en el laboratorio con la plataforma de National Instruments que ofrece tanto hardware como software, a escalas desde el diseño hasta pruebas avanzadas y desde sistemas pequeños hasta grandes sistemas.

Ofrece integración sin precedentes con software legado existente, IP y hardware al aprovechar las últimas tecnologías de cómputo. LabVIEW ofrece herramientas para resolver los problemas de hoy en día y la capacidad para la futura innovación, más rápido y de manera más eficiente.

Teniendo como uno de sus lemas desplegar software al hardware adecuado, por esta razón se decidió trabajar con esta plataforma ya que es escalable y modulable tanto hardware como software, a continuación, se describen los sistemas ya mencionados.

Sistema de Adquisición de datos (DAIU) y software ADRE® para Windows®

El ADRE® por sus siglas en inglés Automated Diagnostics for Rotating Equipment es un sistema de Diagnóstico Automatizado para Equipo Rotatorio fabricado por la empresa Bently Nevada® y que consta de una unidad “interfaz” de adquisición de datos 208-P DAIU (208-P Data Acquisition Interface Unit) y del software (programa computacional) ADRE® para Windows®.

Tiene capacidad de hasta 8 canales, es portátil y permite obtener una gran gama de gráficas que facilitan de manera considerable el análisis y diagnóstico de vibraciones en maquinaria rotatoria. Este Software permite obtener los gráficos siguientes:

- Análisis de amplitud vs. frecuencia (Espectro).
- Análisis de amplitud vs. frecuencia vs. tiempo (Diagrama de Cascada).
- Análisis de amplitud/fase vs. velocidad angular (Diagrama de Bode).
- Análisis de amplitud vs. fase (Diagrama de Nyquist).
- Análisis de amplitud vs. tiempo (Waveform, TimeBase).
- Análisis de los patrones de Lissajous (Órbita).
- Análisis de la línea de centros del eje (Center Line).
- Análisis de los vectores tabulados.

Las ventajas que tiene es que es un software especializado y está diseñado para lo que se requiere, pero sus entradas son limitadas y no se tiene acceso a los datos, sólo se puede ver el post-proceso. En la figura 3.2 se muestra esta plataforma.



Figura 5 Sistema ADRE®

Fuente: Bently Nevada

National Instruments (NI), LabVIEW

El software LabVIEW es ideal para cualquier sistema de medidas y control y el corazón de la plataforma de diseño de NI. Al integrar todas las herramientas que los ingenieros y científicos necesitan para construir una amplia variedad de aplicaciones en mucho menos tiempo, NI LabVIEW es un entorno de desarrollo para resolver problemas, productividad acelerada y constante innovación. Combina la potencia del software LabVIEW con hardware modular y reconfigurable para resolver la creciente complejidad involucrada de proporcionar sistemas de medida y control a tiempo y dentro del presupuesto. Más adelante se profundizará en el área de NI LabVIEW, ya que es el software utilizado para el programa realizado.

Hardware

En esta sección se describen los componentes de la plataforma de instrumentación y su funcionamiento. Se limita a explicar las características principales de cada componente, así como el papel que desempeña en la plataforma.

Cabe mencionar que los componentes utilizados no requieren de una tarjeta de adquisición de datos específica para funcionar, con ello se logra que la plataforma sea amigable con casi cualquier tipo de sensor y actuador ya que se logran acondicionar de manera correcta sin tener problemas en la interpretación de los transductores ya que la tarjeta que se utiliza es de entradas analógicas y es de uso general.

Tipos de sensores utilizadas

Para lograr el objetivo principal se seleccionó con detalle cada elemento. En esta sección se detallan las características de cada elemento que se utilizó, explicando su función y el motivo de su elección para la plataforma.

Proxímetros

El proxímetro es un dispositivo electrónico que desempeña dos funciones básicas:

- Genera una señal de radiofrecuencia (RF) mediante un circuito oscilador.
- Prepara la señal de RF para extraer datos utilizables mediante un circuito demodulador.



Figura 6 Sensor de proximidad de la serie 3300 XL
Fuente: Bently Nevada®

En la plataforma experimental se utilizaron 3 proxímetros, dos para un plano de medición y uno para el indicador de velocidad dentro del programa. Las especificaciones del proxímetro utilizado son las siguientes:

Intervalo Lineal

1,5 mm (60 mils). Rango lineal comienza en aproximadamente 0,25 mm (10 mils) de objetivo y es 0,25 a 1,75 mm (10 a 70 milésimas de pulgada) (aproximadamente -1 a -13 Vdc).

Respuesta en frecuencia:

0 a 10 kHz: 0, -3 dB típico, con un máximo de 305 metros (1.000 pies) de cableado de campo.

Diámetro Del Eje:

Mínimo (configuración estándar XY sonda): 30 mm (1,2 pulgadas), Mínima (sondas de proximidad XY compensa axialmente por 23 mm (0,9 in)): 20 mm (0,8 pulg). Mediciones en diámetros de eje menores a 30 mm (1,2 pulgadas) por lo general requieren una estrecha separación de vibración radial o transductores de posición axial.

Acelerómetro Tri-axial

El acelerómetro utilizado en las pruebas fue el acelerómetro Dytran Model #3023A, el cual cuenta con la misma tecnología que las tarjetas de adquisición de National Instruments, IEPE, con la que se puede prescindir de acondicionador de señal. Sus principales características son las siguientes:

- 10 mV/g sensitivity.
- 500g range.
- 1.5 to 10,000 Hz frequency range (+15/-5%).
- 4-pin 1/4-28 radial connector.
- Adhesive mount.
- 3 grams.
- Titanium.
- Hermetic.
- Lightweight.
- Triaxial.
- IEPE.

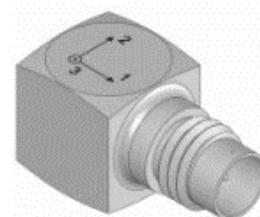


Figura 7 Acelerómetro Triaxial Dytran

Módulos NI utilizados

- Chasis cDAQ-9178

Para la adquisición de datos con el hardware de National Instruments es necesario un Chasis de este tipo en el cual se insertan las tarjetas de adquisición de datos que se denominan de la serie C y su interface es por USB. En la siguiente figura se muestra la NI cDAQ-9178 Chasis NI CompactDAQ USB. Sus principales características son:

- Más de 50 módulos de E/S intercambiables en vivo con acondicionamiento de señales integrado.
- Cuatro contadores/temporizadores de 32 bits de uso general integrados al chasis (acceso a través de módulo digital).
- Ejecuta simultáneamente hasta 7 operaciones de E/S analógica temporizada por hardware, E/S digital o de contador/temporizador.
- Conexiones BNC integradas para relojes y disparos externos (hasta 1 MHz).
- Compatible con el software NI-DAQmx y la generación automática de código usando el DAQ Assistant.

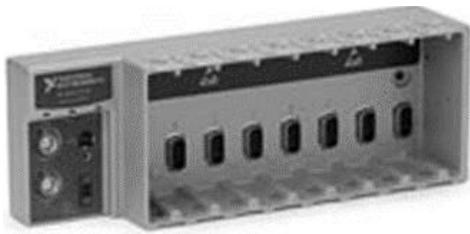


Figura 8 Chasis cDAQ-9178
Fuente: National instruments

Módulo NI 9234

Este módulo cuenta con 4 canales para entradas analógicas con tecnología IEPE, la cual evita el uso de acondicionamiento de señal para sensores con esta misma tecnología, como son los acelerómetros tri-axiales usados en la prueba, a este mismo módulo se conectó el micrófono. Sus principales características son:

- Máxima velocidad de muestreo de 51.2 kS/s por canal; entrada de ± 5 V.
- Resolución de 24 bits; rango dinámico de 102 dB; filtros anti-aliasing.
- Acoplamiento de AC/DC seleccionable por software; acoplado en AC (0.5 Hz).
- Acondicionamiento de señales IEPE seleccionable por software (0 ó 2 mA).
- Compatibilidad con sensores inteligentes TEDS.
- Rango de operación de -40 °C a 70 °C, 5 g de vibración, 50 g de impacto.



Figura 9 Módulo NI 9234
Fuente: National instruments

Módulo NI 9232

Cuenta con 3 canales para entradas analógicas con tecnología IEPE y AC/DC de ± 30 V, 102.4 kS/s/canal, la cual se utilizó para tres proximómetros usados en la prueba, un par del primer plano de medición y el otro para el indicador de velocidad denominado keyphasor.

A continuación, sus características principales:

- 3 canales, entrada analógica simultánea de 102.4 kS/S por canal; ancho de banda de 41 kHz.
- Entrada de ± 30 V, resolución de 24 bits, rango dinámico de 99 Db.
- Acoplamiento de AC/DC seleccionable por software; acoplado en AC (0.1 Hz).

- Acondicionamiento de señales IEPE seleccionable por software (0 ó 4 mA); detección abierta/en corto IEPE.
- Compatibilidad con sensores inteligentes TEDS.
- Rango de operación de -40 °C a 70 °C, 5 g de vibración, 50 g de impacto.

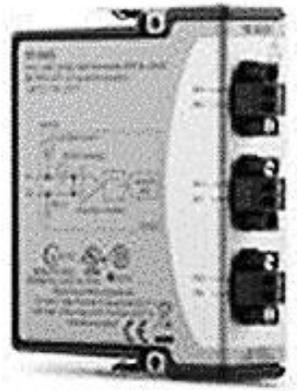


Figura 10 Módulo NI 9232

Fuente: National instruments®

Desarrollo del instrumento virtual: Software

El software está programado de manera que se pueda agregar cualquier módulo para futuras ampliaciones. El tipo de programación que se emplea es de flujo de datos. LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.

- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

También se aplicó LabVIEW ya que es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC.

Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto, los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de los lenguajes de programación convencionales. LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas.

Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos. LabVIEW también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VI's), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo, son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales.

Los VI's tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VI's. Todos los VI's tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VI's.

El siguiente sistema de adquisición de datos, emula las características principales del sistema ADRE de Bently Nevada, con la ventaja de que se pueden tomar los datos para ciertos post-procesos, como es el caso de este sistema, el cual usa los datos para post-procesarlos con MATLAB. Se detalla cuáles son estos post-procesos y cómo funcionan.

Hablar del tiempo de retardo de cada sistema es hablar de diversos factores. Primero, nuestro sensor hace una medición, esta medición debe llegar a nuestra pantalla, y depende tanto del sistema, de la programación como del equipo de cómputo que se esté utilizando. Cada sistema tiene un tiempo de retardo similar, $4.0 \mu\text{S}$ para el ADRE y $3.4 \mu\text{S}$ para el LabVIEW, esto tomando en cuenta solamente sus equipos.

Esta diferencia se puede hacer un poco más amplia si se toma en cuenta que ADRE obliga a utilizar una computadora COMPAQ con Windows 98, mientras LabVIEW tiene una gran variedad de opciones, se utiliza en estas pruebas una laptop Acer con Windows 8 y procesador i7. El tiempo “real” de retardo hasta la salida del programa solo pudo ser calculado en LabVIEW siendo 52 mseg en una toma de datos, sin post-proceso de LLE y/o filtros en código de MATLAB.

Panel Frontal

El panel frontal, es la interfaz donde el usuario interactúa directamente en el funcionamiento del programa y monitoreo de sensores. Funciona en tiempo real para monitoreo de condición de máquinas rotativas o si se desea abrir un archivo para analizarlo con más detenimiento.

Configuración

La ventana de configuración cuenta con 5 pestañas, Configuración General, Buffer, Gráfica RPM vs Tiempo, Filtro Smoothing + Integración de Señal y LLE (Largest Lyapunov Exponent).

Configuración general:

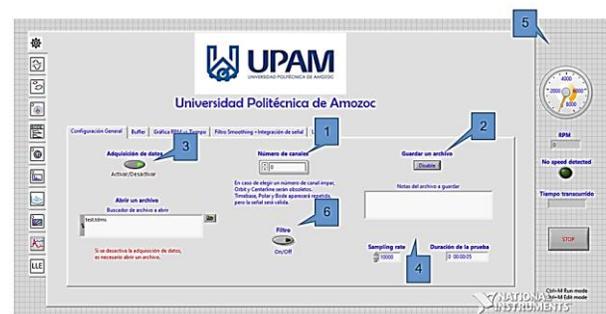


Figura 11 Panel frontal del software, ventana de Configuración general

Fuente: Elaboración propia

- Número de canales. En esta parte de la configuración se elige el número de sensores/canales que se van a habilitar, este control va desde 1 a 10 canales disponibles, con la opción de que si fueran necesarios más canales se pueden agregar fácilmente desde el diagrama de bloques. En caso de elegir un número de canal impar, las gráficas de órbitas y centerline no serán funcionales, ya que para generar ese tipo de gráficas son necesarios por lo menos dos sensores. Timebase, polar y bode aparecerán repetidas, esto es, los gráficos mencionados muestran una gráfica por cada sensor, por lo que la señal proveniente de ese sensor se genera dos veces, pero la señal, aunque repetida, es correcta.

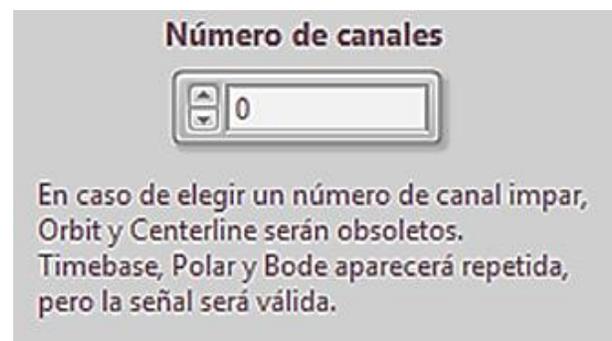


Figura 12 Control para seleccionar el número de canales a utilizar

Fuente: elaboración propia

- Configuración del archivo a guardar. Tiene la opción de habilitarse si desea guardar algún lapso de monitoreo, dando la oportunidad de elegir la ubicación y nombre del archivo, así como anotaciones extras de condiciones de la prueba, ya sea para abrirse en LabVIEW y examinarse después o para utilizar los datos para cierto post-procesamiento de señal en otro programa.



Figura 13 Configuración del archivo a guardar
 Fuente: Elaboración propia

LabVIEW da la opción de guardar el archivo en diferentes formatos, siendo los recomendados TDMS o de texto, mediante la siguiente ventana de configuración (Esta ventana de configuración no se puede manipular desde el panel frontal).

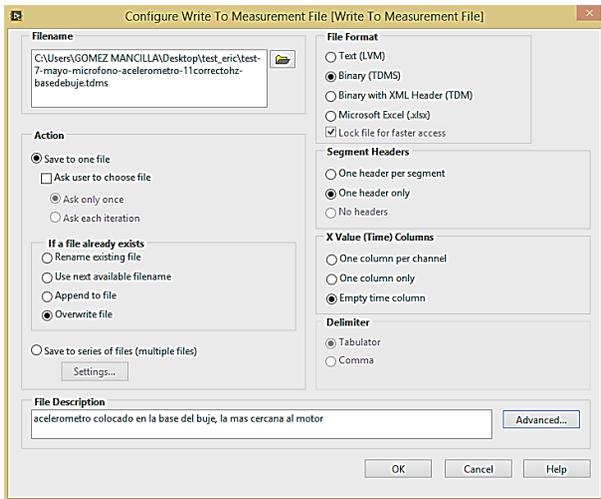


Figura 14 Ventana de configuración para el guardado de archivos
 Fuente: Elaboración propia

- Habilita la adquisición de datos, si es deshabilitado deberá abrir un archivo. Si se requiere hacer una toma de datos en tiempo real es necesario mantener encendido este botón, de lo contrario se desplegará una ventana para buscar algún archivo y examinar nuevamente los gráficos establecidos.



Figura 15 Control para activar/desactivar la adquisición de datos en tiempo real y buscador de archivos
 Fuente: Elaboración propia

- En esta parte del panel frontal existen dos controles, uno permite elegir “Sampling Rate” que se utilizará durante la adquisición de datos. El otro control permite definir la duración de la prueba, para que el programa se detenga de forma automática una vez cumplido el tiempo. Si se desea detener el programa antes de que se cumpla el tiempo definido, sólo se debe presionar el botón de STOP que se encuentra del lado derecho del panel frontal.



Figura 16 Control para duración de la prueba y Sampling rate
 Fuente: Elaboración propia

- El panel del lado derecho siempre será visible sin importar que cambie de ventana, se muestra una serie de indicadores que señalan las RPM y el tiempo transcurrido de la prueba, así como el botón para detener la adquisición de datos.



Figura 17 Indicadores y botón de STOP
Fuente: Elaboración propia

En la parte central aparece un led de color verde que cambiará a color rojo si no detecta velocidad; en la parte inferior aparece una nota para cambiar el programa a “Edit mode”, que permite hacer cambios tanto de programación como algunas propiedades de gráficos.

- En la parte inferior izquierda se encuentran los controles para activar o desactivar un filtro de señales. Si se elige un filtro, se debe configurar desde el diagrama de bloques. Esta configuración permite elegir entre 5 tipos de filtrado distintos: Lowpass, Highpass, Bandpass, Bandstop y Smoothing.



Figura 1 Control para activar/desactivar el filtro
Fuente: Elaboración propia

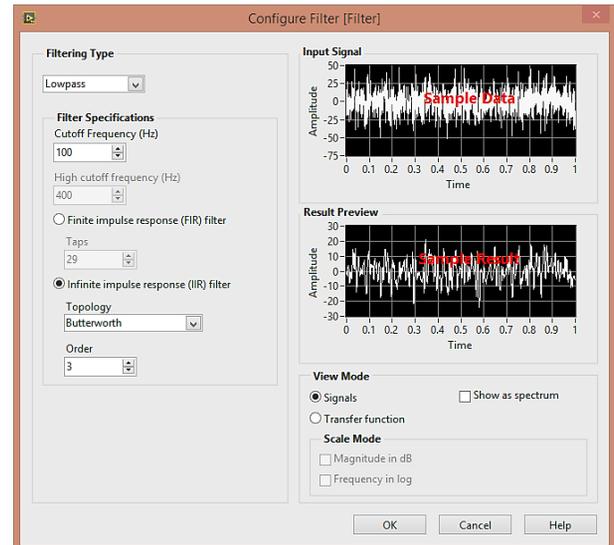


Figura 19 Ventana de configuración del filtro en diagrama de bloques
Fuente: Elaboración propia

Programación para el cálculo del máximo exponente de Lyapunov (LLE). Para habilitar esta función durante la adquisición de datos en tiempo real, en necesario, además de colocar el botón en ON, habilitar la opción de guardar un archivo (visto en la ventana de configuración general), ya que el cálculo del LLE se efectúa mediante el ingreso de ese archivo a un código en lenguaje de programación de Matlab, que a su vez se encuentra en una estructura dentro del programa efectuado en LabVIEW que permite leer diferentes lenguajes de programación.

Por otro lado, si se requiere efectuar dicho cálculo a una toma de datos (sin toma de datos en tiempo real), es necesario especificar Sampling Rate que se usó en la prueba.

Comparación de resultados ADRE® y LabView

A continuación, se muestra una comparativa entre las diferentes gráficas obtenidas con ambos sistemas, el sistema ADRE y el programa hecho en LabVIEW. La información mostrada corresponde a una prueba que llega hasta las 3655 RPM, después de realizar el balanceo. Los sensores utilizados fueron los proximetros. Las velocidades de muestreo y configuración de ambos sistemas fue la misma, hasta donde es posible configurar.

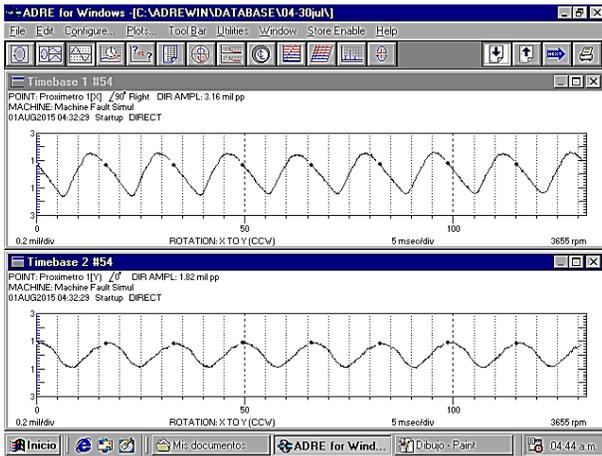


Figura 20 Diagrama Timebase en sistema ADRE. Amplitudes: $x=3.16$ mil pp / $y=1.82$ mil pp
Fuente: Elaboración propia

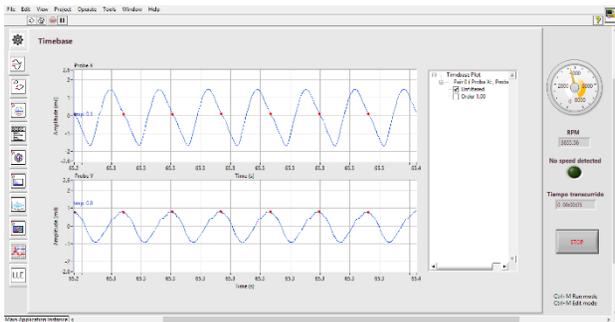


Figura 21 Diagrama Timebase en sistema LabVIEW. Amplitudes: $x=3.28$ mil pp / $y=1.86$ mil pp
Fuente: Elaboración propia

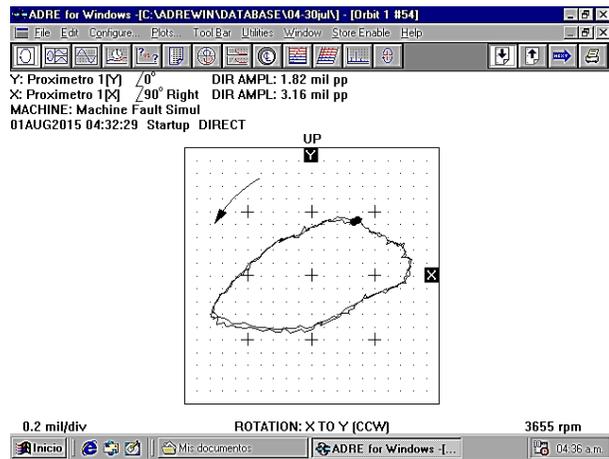


Figura 22 Diagrama Orbit en sistema ADRE. Amplitudes: $x=3.16$ mil pp / $y=1.82$ mil pp
Fuente: Elaboración propia

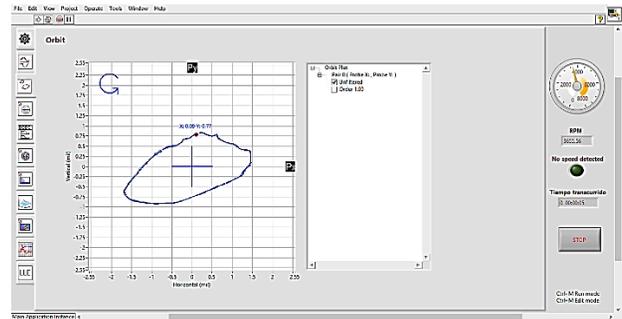


Figura 23 Diagrama Orbit en sistema LabVIEW. Amplitudes: $x=3.28$ mil pp / $y=1.86$ mil pp
Fuente: Elaboración propia

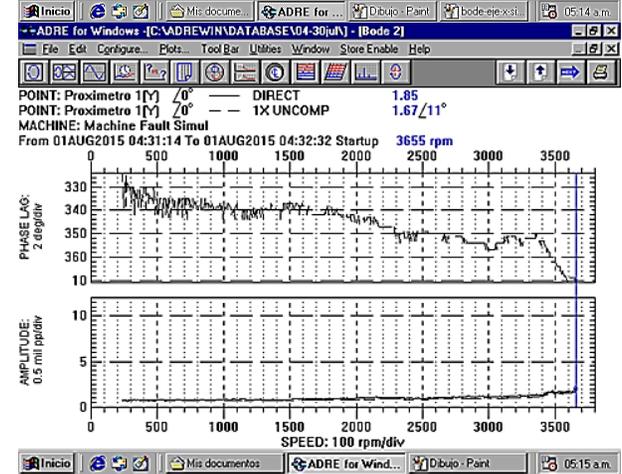
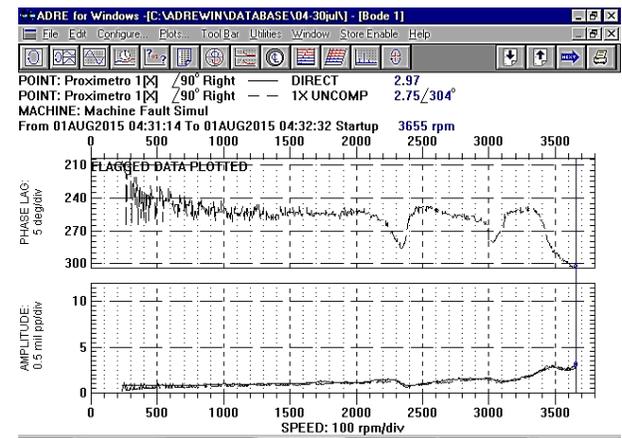


Figura 24 Diagrama de Bode en sistema ADRE. Eje $X=2.97$ mil pp. (Arriba) / Eje $Y=1.85$ mil pp. (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

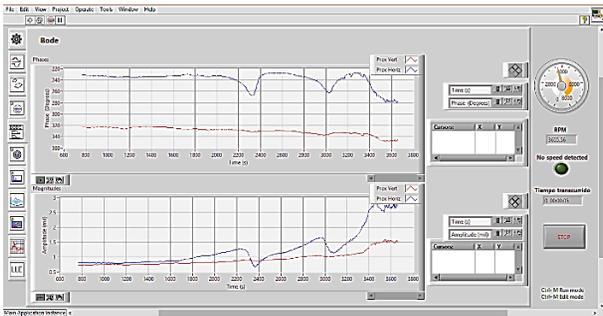


Figura 25 Diagrama de Bode en sistema LabVIEW. Eje X=2.82 mil pp. (Azul) / Eje Y=1.55 mil pp. (Rojo)
Fuente: Elaboración propia

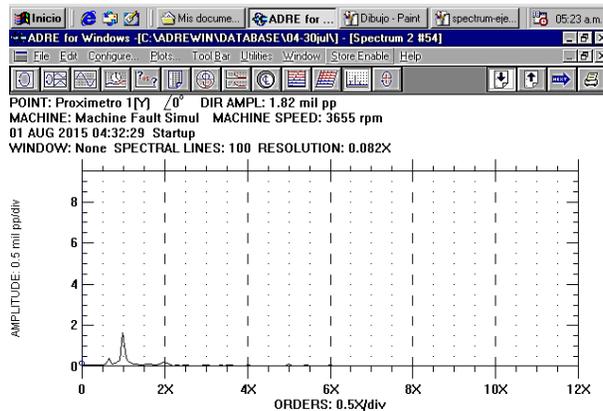
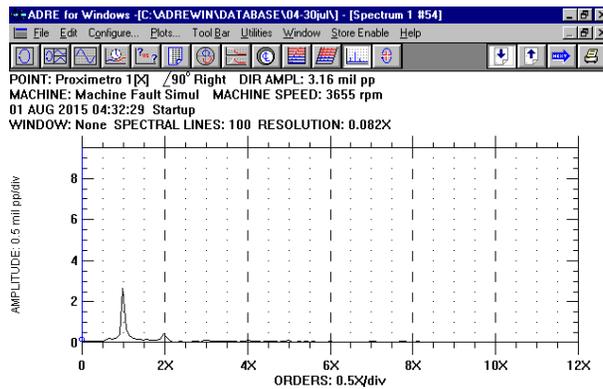


Figura 26 Diagrama Spectrum en sistema ADRE. Eje X=3.16 mil pp. (Arriba) / Eje Y=1.82 mil pp. (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

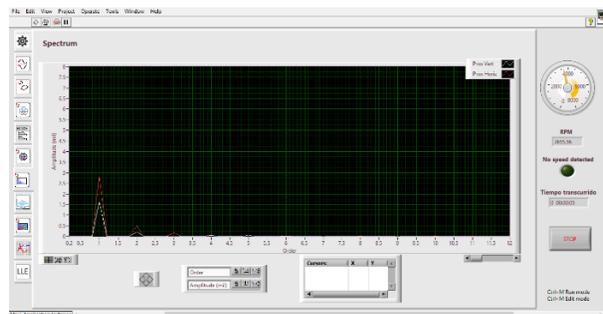


Figura 27 Diagrama Spectrum en sistema LabVIEW. Eje X=2.82 mil pp. (Rojo) / Eje Y=1.55 mil pp. (Blanco)
Fuente: Elaboración propia

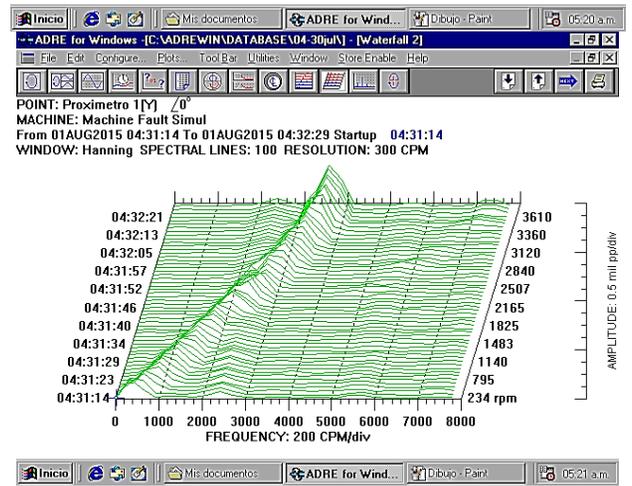
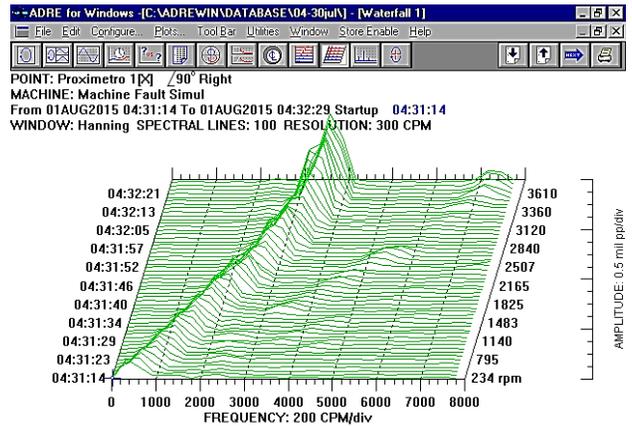


Figura 28 Diagrama Waterfall en sistema ADRE. Eje X (Arriba) / Eje Y (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

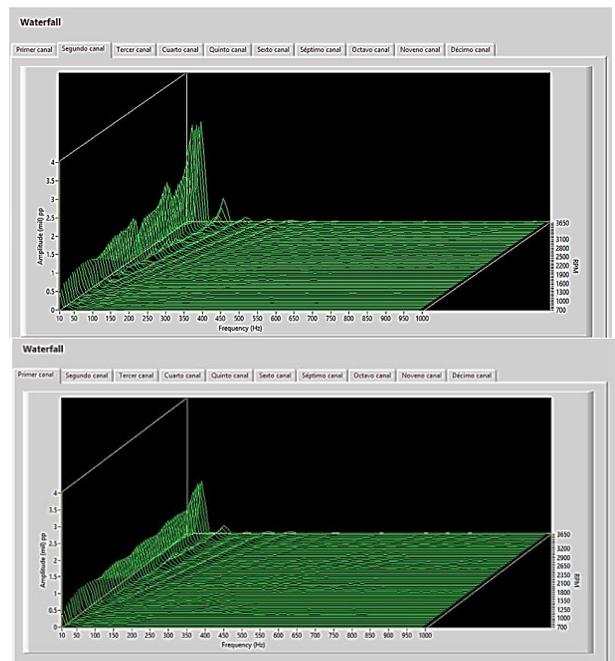


Figura 29 Diagrama Waterfall en sistema LabVIEW. Eje X (Arriba) / Eje Y (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

Como principal ventaja tenemos la versatilidad de procesar los datos con nuestro sistema de adquisición, a continuación, se muestra una prueba realizada en la misma plataforma experimental con una velocidad constante de 50 Hz., durante 4 segundos. La adquisición de datos fue de este periodo de tiempo, ya que para utilizar el post-proceso del cálculo de LLE, se debe tomar en cuenta la cantidad masiva de datos arrojados. Con un muestreo de 10k por segundo y utilizando los 5 canales para los diferentes sensores, la comunicación entre LabVIEW y Matlab logra dar resultados en menos de 15 minutos. Demasiados datos consumirían el espacio del buffer de LabVIEW.

El funcionamiento del programa realizado en esta tesis, fue el siguiente:

- Adquisición de datos por medio de los sensores
- Estos datos pasan por el filtro (Integración, Derivación y Smoothing) programado en Matlab, este último permite cambiar el average del cálculo. Este average tiene un valor de 4. Este cálculo realiza una integración y una derivación descritas anteriormente.
- Los datos filtrados, pasan al segundo post-proceso, que es el cálculo de una serie de características no lineales con la finalidad de obtener el LLE.
- Los datos ya post-procesados, son graficados.

En la figura siguiente se muestra la señal directa y sin filtros adicionales de los proximetros colocados ortogonalmente.

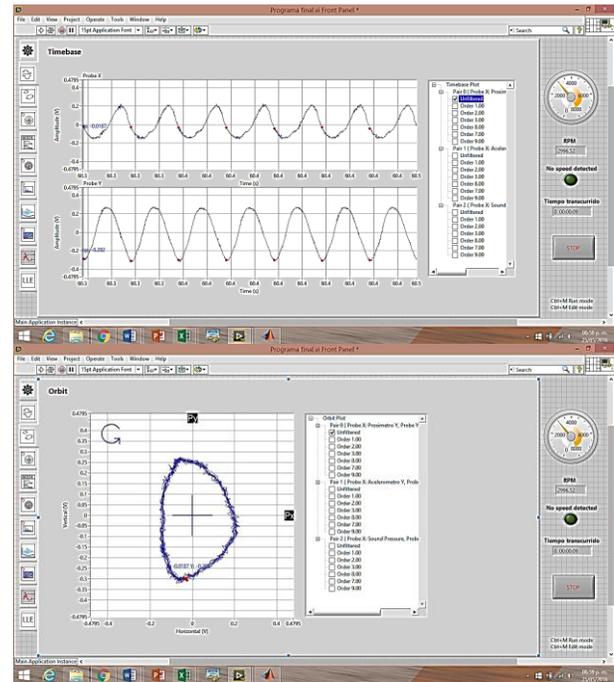


Figura 30 Timebase, X=0.37, Y=0.53 v pp. (Arriba.) / Orbit (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra graficada la señal filtrada de los proximetros, es decir, aplicando el post-proceso para integración y derivación. Se puede notar como las amplitudes disminuyen y las órbitas se distorsiona levemente en ciertos fragmentos. En esta figura, aún no se han aplicado filtros adicionales.

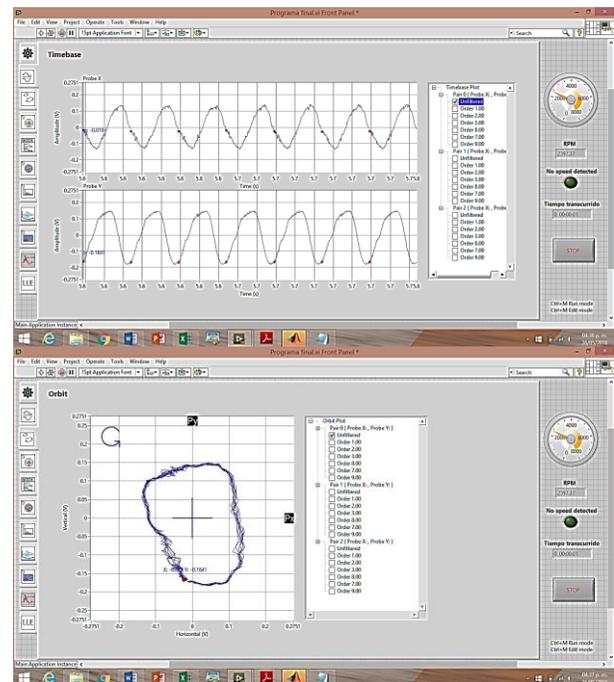


Figura 31 Timebase, X=0.24, Y=0.31 v pp. (Arriba.) / Orbit (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura, se ve la señal ya filtrada de los proximetros, además de agregar el filtro adicional de orden 1.

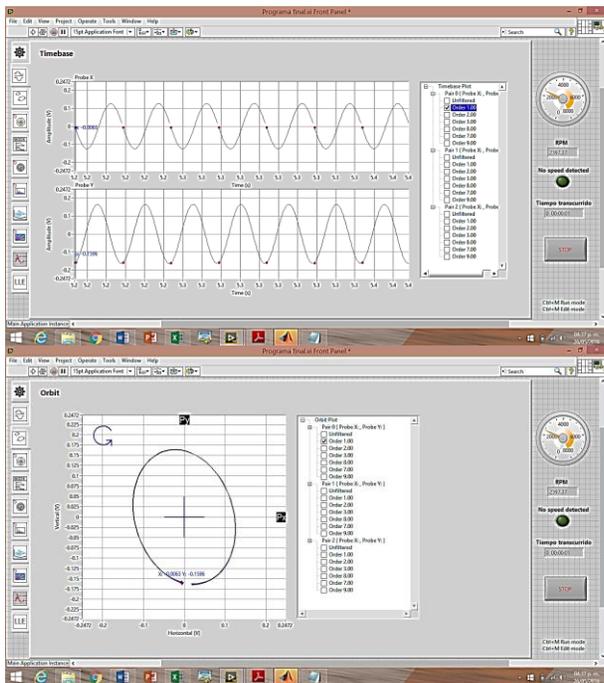


Figura 32 Timebase, $X=0.24$, $Y=0.32$ v pp. (Arriba) / Orbit (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

Y, por último, en las figuras siguientes se muestran los resultados arrojados para la extracción de características no lineales, en este caso, la información mutua y los falsos vecinos cercanos.

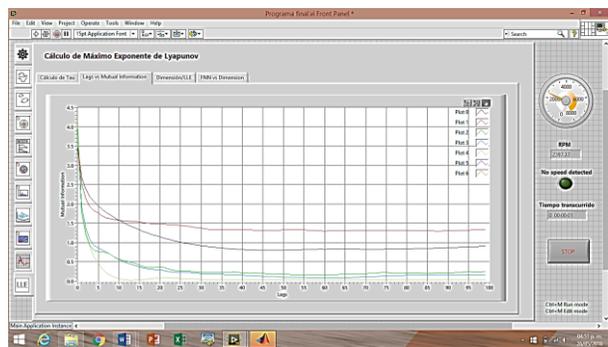


Figura 33 Gráfica de Lags vs Mutual Information
Fuente: Elaboración propia

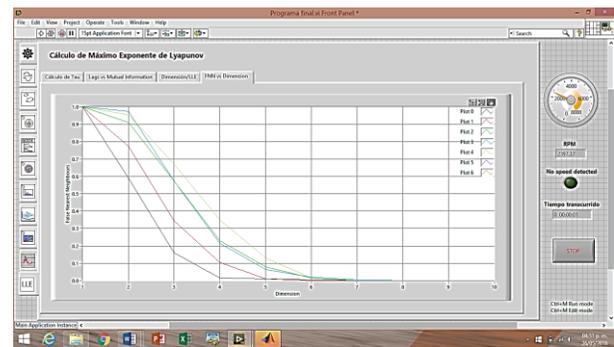


Figura 34 FNN vs Dimensión
Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló un programa con software NI LabVIEW, capaz de monitorear la condición de máquinas rotativas con ayuda de sensores y hardware de National Instruments, con esto se logró emular las características básicas del sistema de adquisición de datos ADRE de Bently Nevada. El instrumento virtual se realizó de manera que se pueda hacer más versátil, es decir, ampliar su capacidad integrando diferentes post-procesos, canales y características que beneficien su velocidad y uso. Se integraron post-procesos programados en Matlab, para que se realicen de forma automática después de adquirir señales o para aplicarlos a datos adquiridos en otros sistemas. Se comprobó que los proximetros proporcionaron una señal menos susceptible al ruido, aunque sean los de más difícil montaje. Los acelerómetros son mucho más sensibles, por lo que la ubicación de estos es fundamental para un mejor resultado, ya que si se posicionan en un lugar erróneo se pueden captar señales de ruido por factores externos que complican tanto la interpretación de resultados, así como, el post-proceso de los datos.

Referencias

Mosquera, G., Piedra Díaz, M. de la V., Armas Cardona, R. A. (2001). Las Vibraciones Mecánicas y su Aplicación al Mantenimiento Predictivo. Venezuela: CDCH.

Rao, J. S. (2011). History of Rotating Machinery Dynamics. Alemania: Springer.

Stodola, A. (1927). Steam and Gas Turbines, Estados Unidos: McGraw-Hill.

Ehrich, F.F. (1992). Handbook of Rotor Dynamics. Estados Unidos: McGraw-Hill.

Avalos Gauna, J., (2011). Análisis y Validación por Volumen Finito de los Coeficientes Rotodinámicos de Rigidez de una Chumacera Corta Con y Sin Presurización. (Tesis de Maestría). IPN SEPI ESIME Zacatenco. México.

Montiel Varela, G., (2011). Validación Numérica del Amortiguamiento Crítico para el Tercer Modo de Vibración. (Tesis de Maestría). IPN SEPI ESIME Zacatenco. México

Rao, J.S., Sreenivas, R., (2003). Dynamic Analysis of Misaligned Rotor Systems, Advances in Vibration Engineering. Journal of Vibration Institute of India, 2 (2), p. 128.

Fernández Tavitas, D. A., Nieto González, J. P., (2014). Detección de Barras Rotas en Motores de Inducción Utilizando SMCA (Square Motor Current Signature Analysis). Research in Computing Science, 73, 193-202.

White, G. (2010). Introducción al Análisis de Vibraciones. Estados Unidos: Azima DLI.

Sinha, J. K., Lees, A. W., Friswell, M. I. (2004). Estimating unbalance and misalignment of a flexible rotating machine from a single run-down. Journal of Sound and Vibration, 272 (3-5), 967-989.

Ramos Castro Juan, Rosell Ferrer Javier. (2004). Sistemas de instrumentación Pere Riu Costa, Universitat Politècnica de Catalunya.

Lajara Vizcaíno José Rafael, Pelegrí Sebastián José. (2012). LabVIEW: Entorno gráfico de programación, Marcombo.

Genta, G. (2005). Dynamics of Rotating Systems, Estados Unidos: Springer.

Ishida, Y., Yamamoto, T. (2012). Linear and Nonlinear Rotordynamics, Gran Bretaña: Wiley-VCH.

Wolf, A., Swift, J. B., Swinney, H. L., Vastano, J. A. Determining Lyapunov exponents from a time series. Physica D: Nonlinear Phenomena 16, 3 (1985), 285 – 317