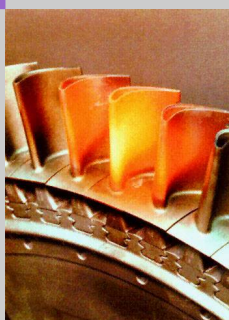
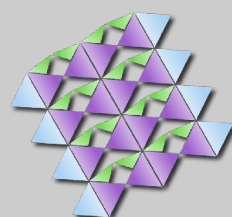


Sistema de monitorización en continuo
para mantenimiento predictivo

vibra



Tutorial 3: Demodulación



Sinais
Ingeniería de mantenimiento

Índice de contenido

Introducción	página	5
¿Qué es la demodulación?	página	5
¿Por qué usar demodulación?	página	6
¿Por qué no usar sólo demodulación?	página	7
Demodulación en Vibra	página	8
Demodulación mediante la Transformada de Wavelet	página	8
Creación de un archivo de configuración	página	9
Nodo de captura virtual	página	13
Servidor Vibra	página	14
Monitor Vibra	página	16

Introducción

El uso de la demodulación o análisis de envolvente es un excelente complemento para mejorar el análisis espectral en la detección de defectos en rodamientos y cajas de engranajes. Este tutorial describe qué es la demodulación, para qué se utiliza y cómo hacer uso de ella mediante el sistema Vibra.

¿Qué es la demodulación?

La demodulación puede explicarse mediante el siguiente ejemplo: supongamos que tenemos un rodamiento con un defecto en la pista exterior, tal y como se observa en la Figura 1. Cada vez que una bola pasa sobre el defecto, genera un pequeño impacto que oímos como un “clic”. Si, por ejemplo, la BPFO (frecuencia de deterioro de la pista exterior) del rodamiento es 6,2, es decir, pasan 6,2 bolas sobre el defecto en cada revolución del eje, tendremos 6,2 “clics” por revolución. Si medimos la vibración en este rodamiento durante una revolución completa del eje obtendremos una forma de onda como la representada en color azul en la Figura 2.

Al analizar mediante el espectro la vibración que genera este rodamiento (ver Figura 3), encontramos picos armónicos de la BPFO, es decir, a una frecuencia igual a 6,2 veces la velocidad de rotación del eje. Dichos picos están directamente relacionados con este defecto en el rodamiento. Sin embargo, la señal de vibración contiene más información, tal y como podemos ver en el espectro estándar, y por tanto, surge la pregunta: ¿Qué es esa otra información?

El impacto que se genera cuando cada bola del rodamiento encuentra una discontinuidad, es el mismo que el rodamiento hace cuando se le golpea con un martillo, de forma similar a una campana golpeada por un martillo. La estructura, formada por el rodamiento, su caja y el eje de la máquina, todos ellos en conjunto actúan como una campana en resonancia. El sonido que hace cuando una bola golpea el defecto se corresponde con una determinada frecuencia, denominada frecuencia natural o frecuencia de resonancia, que es típicamente una frecuencia alta, en un rango entre 1 y 20 kHz dependiendo de la masa y la dureza de la estructura del rodamiento, y no queda sólo concentrada en algunas frecuencias en particular, sino en bandas de frecuencias. Esta frecuencia de resonancia es una propiedad de la estructura y no es afectada por cuantas veces o como de intenso sea el impacto.

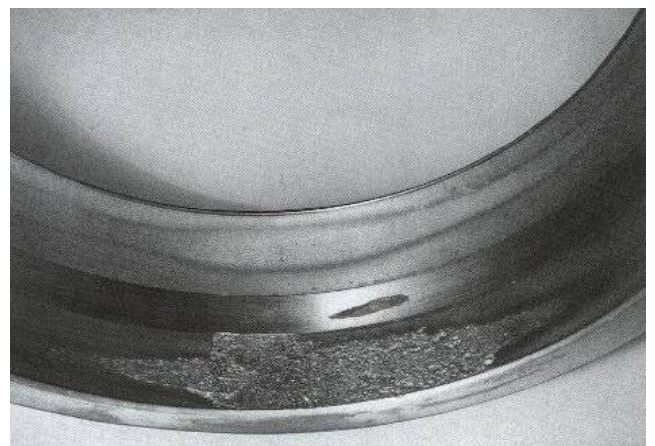


Figura 1: Defecto en la pista exterior de un rodamiento

Teniendo esto presente, podemos ver desde otro punto de vista la vibración asociada a este defecto: considerando que el rodamiento o “campana” está sonando todo el tiempo y cuando el defecto es golpeado por la bola este simplemente sonará más fuerte. Este efecto de variación en la amplitud de la frecuencia natural se conoce como modulación de amplitud y se puede apreciar claramente en la Figura 2, donde la frecuencia natural actúa como señal portadora y la señal BPFO actúa como señal modulada.

El proceso de demodulación consiste en obtener a partir de la vibración original de la Figura 2 una nueva señal que contenga únicamente la señal modulada, tal y como se representa en la Figura 4. Esta nueva señal también se conoce como envolvente de la señal original. El espectro de la señal demodulada se denomina espectro de demodulación (ver Figura 5) y contiene picos armónicos a la frecuencia de “campaneo” (BPFO) de la señal de vibración original.

En resumen, podemos ver en dos lugares diferentes y de dos maneras diferentes los efectos de las bolas golpeando un defecto en una pista. Una se puede interpretar como el número de impactos por revolución del eje: si 6,2 bolas golpean el defecto por revolución del eje podemos ver un pico en el espectro de vibración con frecuencia $6,2 \times \text{RPM}$ (BPFO). Otra manera es verlo en términos de frecuencia resonante de la carcasa del rodamiento: el sonido del armazón del rodamiento es más fuerte 6,2 veces por revolución del eje y si demodulamos la señal tendremos un pico en $6,2 \times \text{RPM}$ (BPFO).

Por lo tanto, existen esencialmente dos caminos diferentes para llegar a ese $6,2 \times \text{RPM}$ (BPFO), el cual nos dice que se está desarrollando un problema en el rodamiento.

¿Por qué usar demodulación?

Llegados a este punto cabe hacerse la siguiente pregunta: si es posible identificar problemas en rodamientos con una técnica, ¿por qué complicarse con otra alternativa?. El empleo de la demodulación en el diagnóstico de averías es de extrema utilidad debido a que aporta al analista las siguientes capacidades.

Medida con mucha vibración aleatoria

Una razón para usar la demodulación es la existencia de equipos, como bombas o sopladores, que debido a su propio funcionamiento generan gran cantidad de vibración aleatoria que incrementa el ruido de fondo en el espectro. Este nivel de ruido puede enterrar los armónicos asociados a las frecuencias de fallo del rodamiento en el espectro estándar. Además, el ruido de fondo producido por la vibración aleatoria, a menudo es similar al causado por un desgaste severo de los rodamientos, lo cual puede provocar que dicho desgaste pase inadvertido. La demodulación puede resultar extremadamente útil ante esta situación.

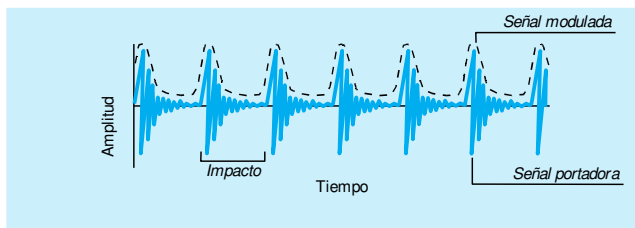


Figura 2: Forma de onda registrada en el rodamiento defectuoso

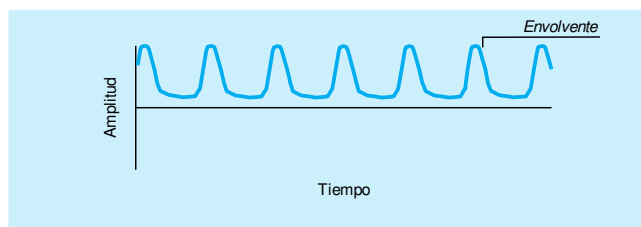


Figura 4: Forma de onda demodulada

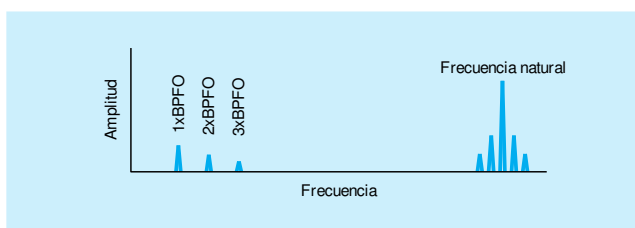


Figura 3: Espectro estándar

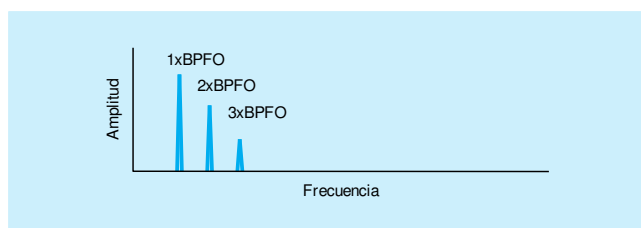


Figura 5: Espectro de demodulación

Medida a muy baja velocidad

La demodulación también es de gran utilidad para diagnosticar problemas en los elementos rodantes de rodamientos en máquinas de muy baja velocidad. Si usted tiene una máquina que gira a 60 RPM (1 Hz) y quiere encontrar frecuencias de rodamiento en un rango entre 3xRPM y 10xRPM, la frecuencia de esos armónicos será menor a 10 Hz. Cuando se usa un espectro en términos de velocidad de vibración, la integración de la aceleración en velocidad, actúa como un filtro paso alto de 10 Hz, haciendo que estas bajas frecuencias sean menos útiles. Afortunadamente, los datos demodulados seguirán siendo válidos dado que la frecuencia resonante del rodamiento continua siendo de alta frecuencia.

Detección temprana

La demodulación permite la detección lo más temprana posible de un fallo de rodamiento, dado que, las frecuencias de fallo del rodamiento que aparecen en el espectro de demodulación constituyen el primer indicador del inicio del deterioro de un rodamiento. La demodulación permite detectar dichas frecuencias de fallo antes de que se vuelvan lo suficientemente fuertes como para aparecer en el espectro estándar.

Mayor capacidad de diagnóstico

Si surge un pico a una determinada frecuencia en el espectro de demodulación, muy probablemente sea una frecuencia de fallo de rodamiento. Entonces, cabe esperar que también aparezca en el espectro estándar a medida que el deterioro empeora. Recíprocamente, si surge en el espectro estándar un pico extraño, no síncrono con la frecuencia de giro del eje, y este también aparece en el espectro de demodulación, es posible estar seguro de que es una frecuencia de fallo de rodamiento.

Por último, si se observan frecuencias de fallo de rodamiento en el espectro estándar en dos puntos diferentes de la máquina y dichas frecuencias aparecen en el espectro de demodulación de uno de los puntos pero no en el otro, podemos concluir que el punto en el que sí aparecen es el que tiene un problema de rodamiento.

¿Por qué no usar sólo demodulación?

Lamentablemente, no es posible hacer uso del espectro de demodulación en exclusiva como herramienta de diagnóstico porque no permite correlacionar la amplitud de las frecuencias de fallo con el estado de deterioro del rodamiento. El motivo de esto es que a medida que avanza el deterioro del rodamiento se incrementa el número de defectos en el mismo, haciendo que la señal demodulada sea cada vez más aleatoria. Por ello, a medida que el deterioro del rodamiento avanza, los armónicos en el espectro de demodulación pueden llegar incluso a desaparecer.

Además, el nivel del pico en el espectro de demodulación es simplemente relativo a como de ruidosos son los “clics” comparados con el sonido de fondo del rodamiento. Esta proporción, por sí sola, no es suficiente para hacer una correlación con la severidad del deterioro del rodamiento.

Demodulación en Vibra

Antes de seguir adelante con este tutorial necesita tener instalada una versión, bien de evaluación o bien comercial, de Vibra. Si aún no tiene Vibra instalado, puede solicitar una versión de evaluación en nuestra web a través del enlace: <http://www.sinais.es/solicitudDemo.html>.

Demodulación mediante la Transformada de Wavelet

A la hora de implementar la demodulación tradicionalmente se han empleado técnicas como: la rectificación, la Transformada de Hilbert o el PeakVue®.

Estos métodos se basan en la búsqueda de impulsos de alta frecuencia, lo cual se complica por el hecho de que dicha periodicidad puede llegar a desaparecer debido a pequeñas variaciones en la velocidad de giro del rodamiento. Además, los métodos clásicos basados en la Transformada de Fourier tienden a promediar la vibración transitoria (como la que provocan los defectos en rodamientos), lo cual los hace más propensos a enterrarla en el ruido de fondo.

La forma más natural de superar estas dificultades es el empleo de métodos que tengan en cuenta de que forma el contenido frecuencial de la señal varía en función del tiempo, como es el caso de la Transformada de Wavelet (WT). Este tipo de métodos se conocen como de análisis de tiempo-frecuencia.

Desde su aparición a mediados de los 80 la teoría en relación a la WT se ha expandido muy rápidamente en casi todos los campos relacionados con el procesamiento de señal y en los últimos años su uso se ha extendido al terreno del análisis de vibraciones mecánicas.

La WT es una técnica extremadamente eficaz para separar los impulsos de corta duración y alta frecuencia, típicos de los defectos en rodamientos, de las componentes de larga duración y baja frecuencia que componen la vibración.

Por estos motivos la WT ha sido la técnica seleccionada para llevar a cabo la demodulación en Vibra.

Creación de un archivo de configuración

El sistema Vibra puede gestionar un número ilimitado de nodos o equipos de captura, cada uno de ellos con un determinado número de tarjetas y canales configurados, por ello es necesario crear un archivo de configuración donde se especifique la estructura de la instalación que se va a emplear.

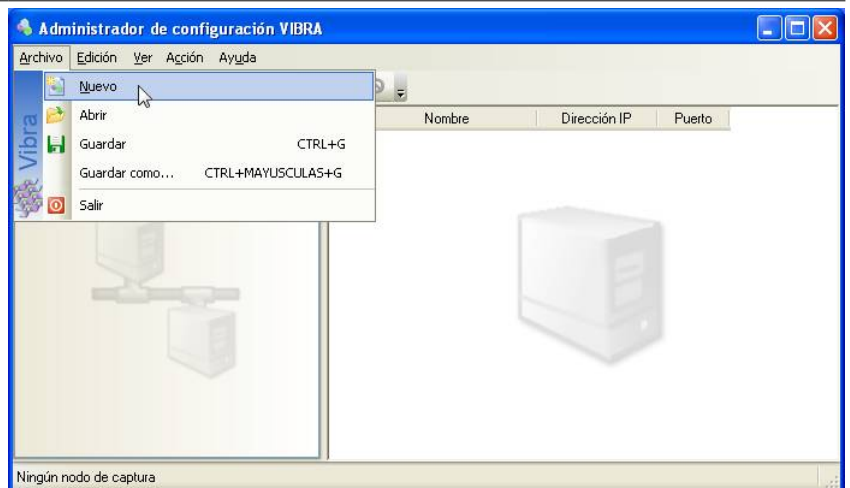
Para el caso particular de este tutorial, la configuración es muy sencilla ya que únicamente es necesario hacer uso de un único nodo de captura virtual conteniendo una tarjeta virtual.

Arranque de la aplicación

- Haga click en **Inicio → Todos los programas → Vibra → Administrador de configuración**.

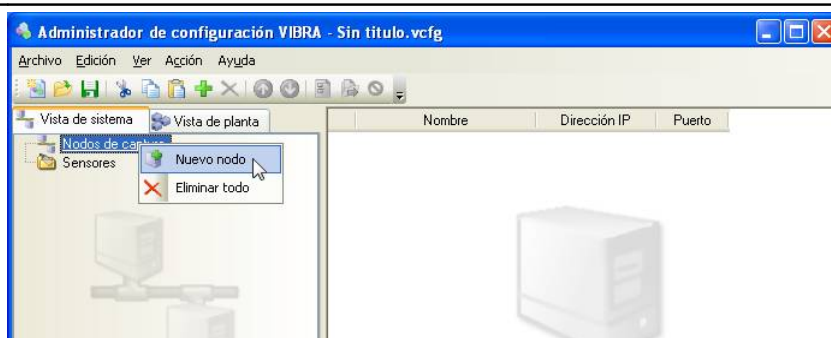


- En el menú **Archivo**, haga click en **Nuevo** para crear una nueva configuración en blanco.

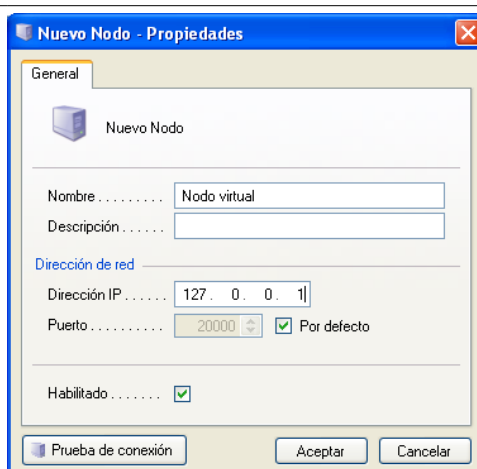


Definición de un nuevo nodo de captura

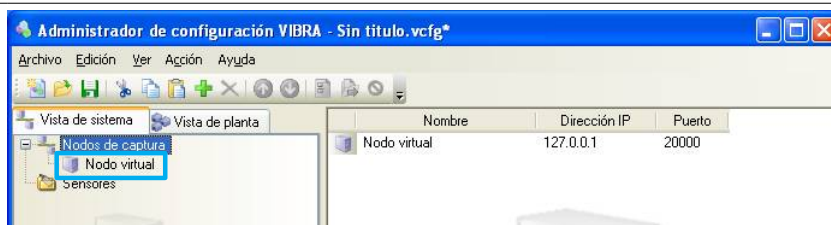
- Haga click con el botón derecho del ratón sobre el elemento **Nodos de captura** para desplegar el menú emergente.
- Haga click en **Nuevo nodo** para añadir un nuevo nodo de captura al sistema.



- En la ventana de propiedades del nodo de captura borre el **Nombre** por defecto e introduzca **Nodo virtual**.
- Como **Dirección IP** introduzca el valor **127.0.0.1**. Esta dirección se corresponde siempre con la dirección de la máquina local.
- Por último, haga click en **Aceptar**.

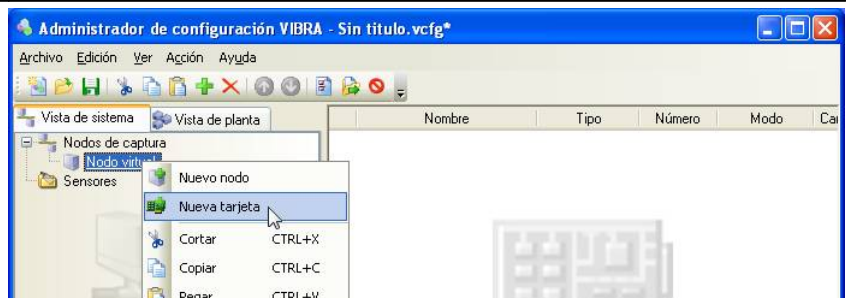


- Verifique que el nuevo nodo aparece en la lista de nodos de captura de la configuración.



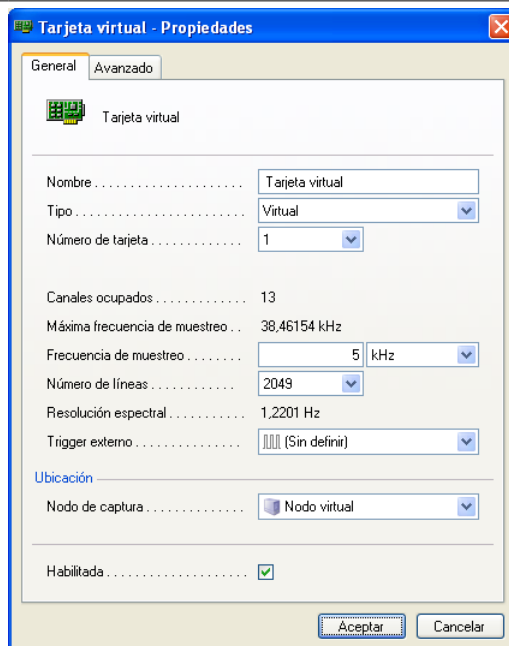
Definición de una nueva tarjeta

- Haga click con el botón derecho del ratón sobre el elemento **Nodo virtual** para desplegar el menú emergente.
- Haga click en **Nueva tarjeta**.



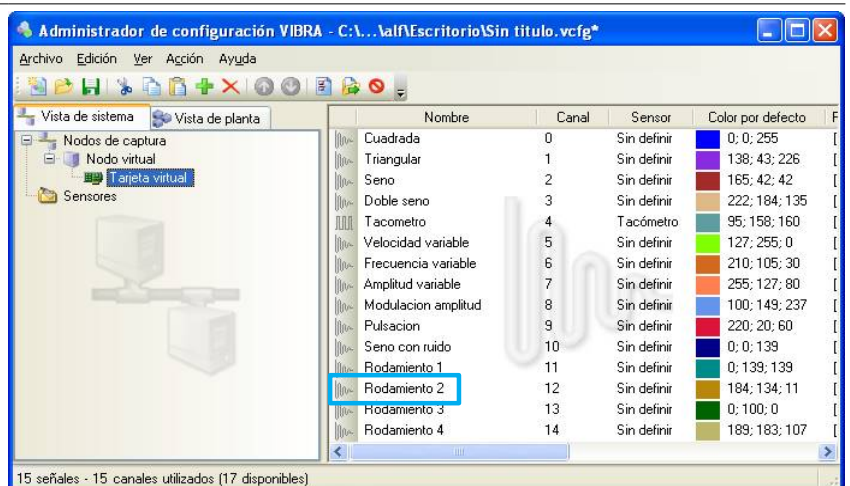
A continuación se configuran los parámetros de funcionamiento de la tarjeta de generación de señales virtuales.

- En la ventana de propiedades borre el **Nombre** por defecto e introduzca **Tarjeta virtual**.
- En el combo **Tipo**, seleccione **Virtual**.
- En el combo **Número de tarjeta**, establezca valor **1**.
- En el campo **Frecuencia de muestreo**, introduzca **5 kHz**.
- En el combo **Número de líneas**, seleccione **2049**.
- Haga click en **Aceptar**.



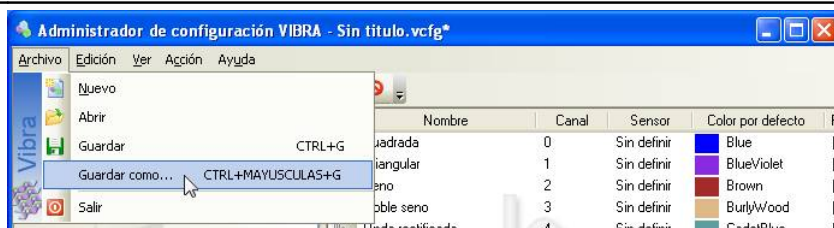
Como puede comprobar a través del interface de la aplicación, las tarjetas virtuales disponen de 13 señales virtuales.

En este tutorial se hará uso de la señal **Rodamiento 2** la cual simula la vibración generada por el deterioro de un rodamiento en su pista exterior.

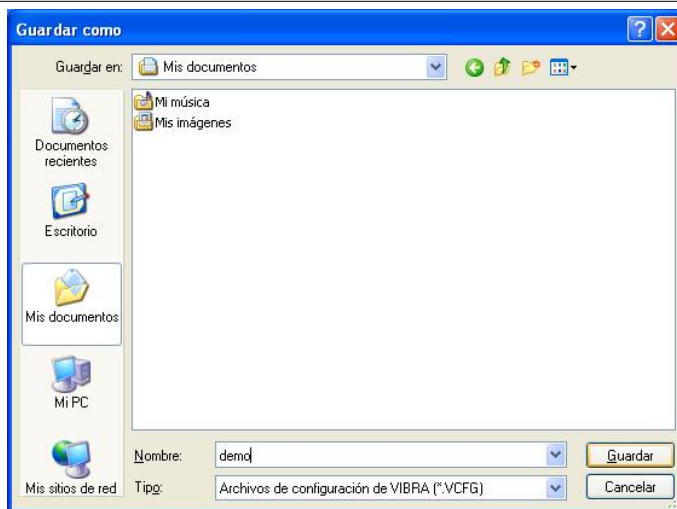


Guardar el archivo de configuración

- En el menú **Archivo**, haga click en **Guardar como**.

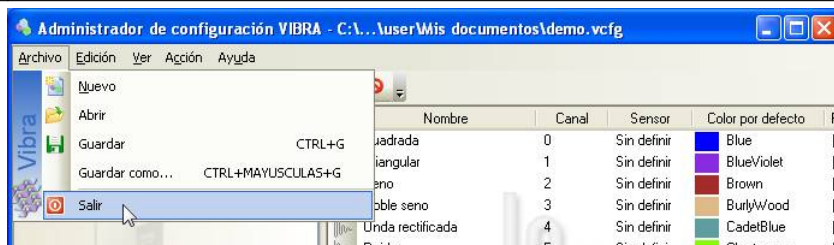


- En el combo **Guardar en** seleccione la carpeta **Mis documentos**.
- En el combo **Nombre** introduzca **demo**.
- Haga click en **Guardar**.



Cierre de la aplicación

- En el menú **Archivo** haga click en **Salir**.



Nodo de captura virtual

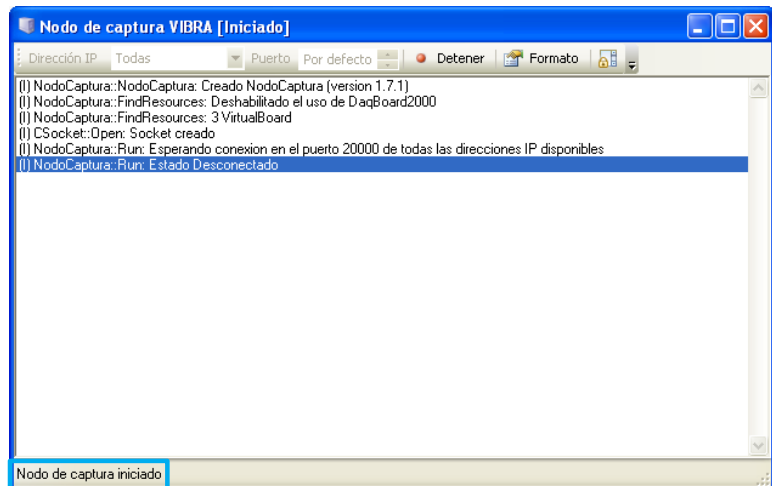
Los Nodos de captura Vibra son PCs industriales que incorporan la electrónica necesaria para la captura de señales de vibración en plantas industriales. Un nodo de captura virtual se comporta de forma similar a un nodo de captura real proporcionando un conjunto de señales virtuales generadas por software dado que es una aplicación exclusivamente orientada a tareas de demostración o formación.

Arranque de la aplicación

- Haga click en **Inicio → Todos los programas → Vibra → Nodo de captura**.



- Verifique en la **barra de estado** que el nodo de captura se encuentra **iniciado**.



Icono en la bandeja del sistema

Minimizando esta aplicación desaparecerá de la barra de tareas y podrá acceder a ella haciendo doble click sobre su **icono en la bandeja del sistema**.



- Minimice la aplicación ya que no será necesario interactuar más con ella a lo largo del tutorial.

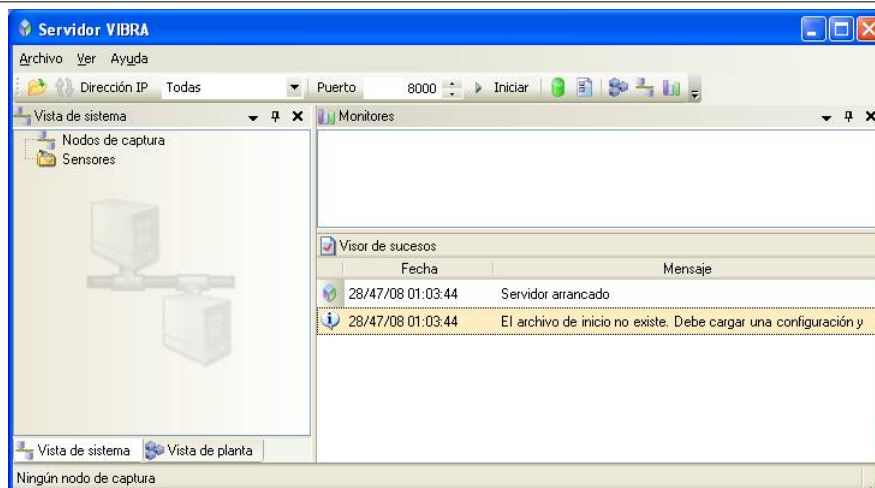
Servidor Vibra

Arranque de la aplicación

- Haga click en **Inicio** → **Todos los programas** → **Vibra** → **Servidor**.



Una vez arrancada podrá acceder a su interface de usuario.



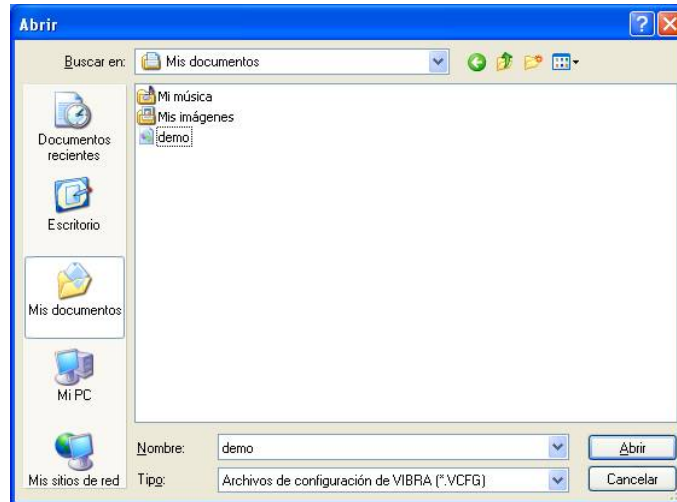
Carga del archivo de configuración

- En el menú **Archivo**, Haga click en **Abrir configuración**.

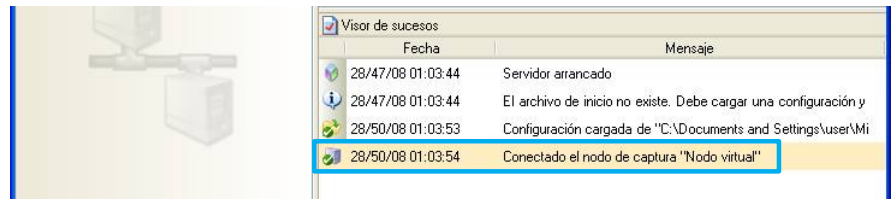


En el dialogo Abrir,

- En el combo **Buscar en** seleccione la carpeta **Mis documentos**.
- Seleccione el archivo **demo.vcfg**.
- Haga click en **Abrir**.

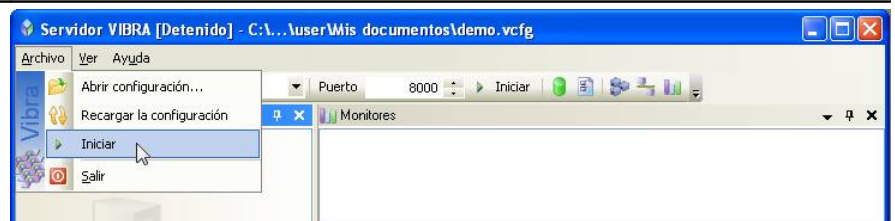


- Verifique en el **Visor de sucesos** que el **Servidor** ha establecido la conexión con el **Nodo de captura virtual**.

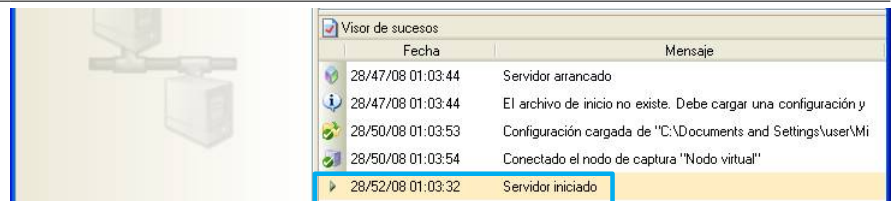


Inicio del servidor

- En el menú **Archivo**, haga click en **Iniciar** para que el Servidor acepte conexiones de Monitores Vibra.



- Verifique en el **Visor de sucesos** que el Servidor se ha **iniciado**.



Icono en la bandeja del sistema

Minimizando esta aplicación desaparecerá de la barra de tareas y podrá acceder a ella haciendo doble click sobre su **icono en la bandeja del sistema**.



- Minimice la aplicación ya que no será necesario interactuar más con ella a lo largo del tutorial.

Monitor Vibra

Arranque de la aplicación

- Haga click en **Inicio** → **Todos los programas** → **Vibra** → **Monitor**.



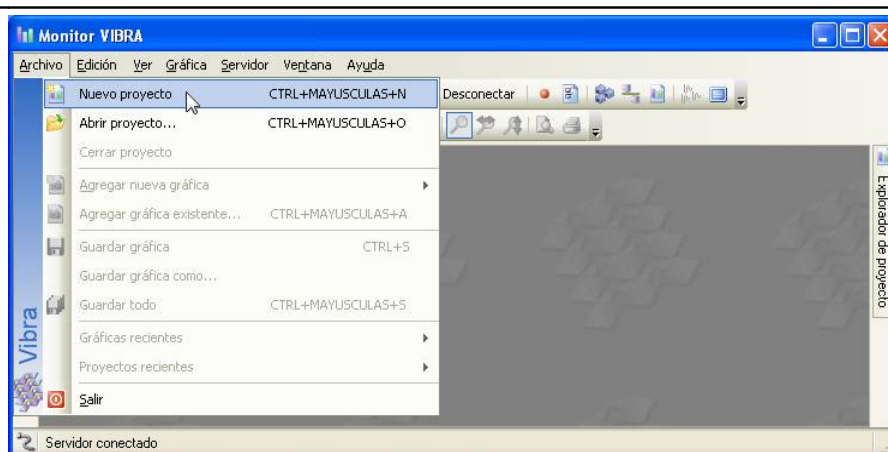
Una vez arrancada la aplicación, esta intenta conectarse automáticamente al servidor Vibra.

- Verifique en la **barra de estado** que el **servidor** se encuentra **conectado**.

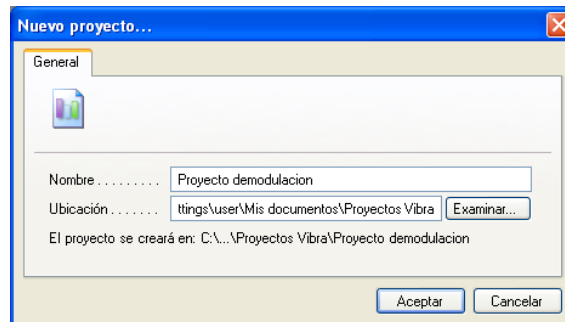


Creación de un proyecto vacío

- En el menú **Archivo**, haga click en **Nuevo proyecto**.

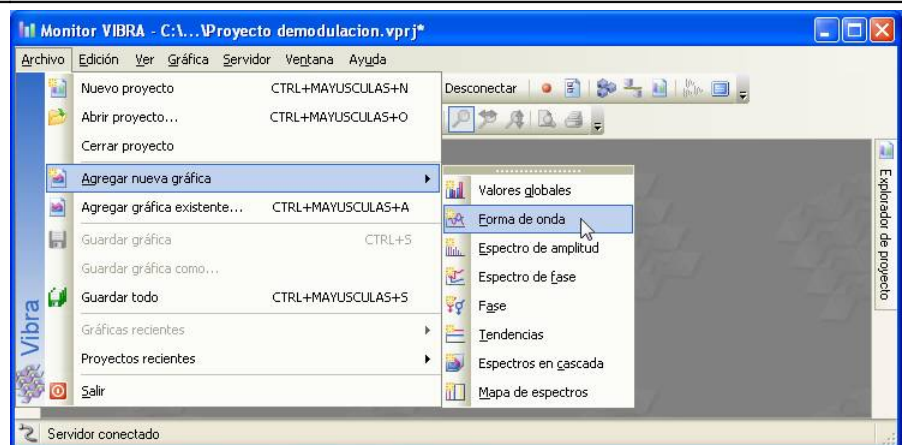


- En el campo **Nombre**, introduzca **Proyecto demodulación**.
- Haga click en **Aceptar**.

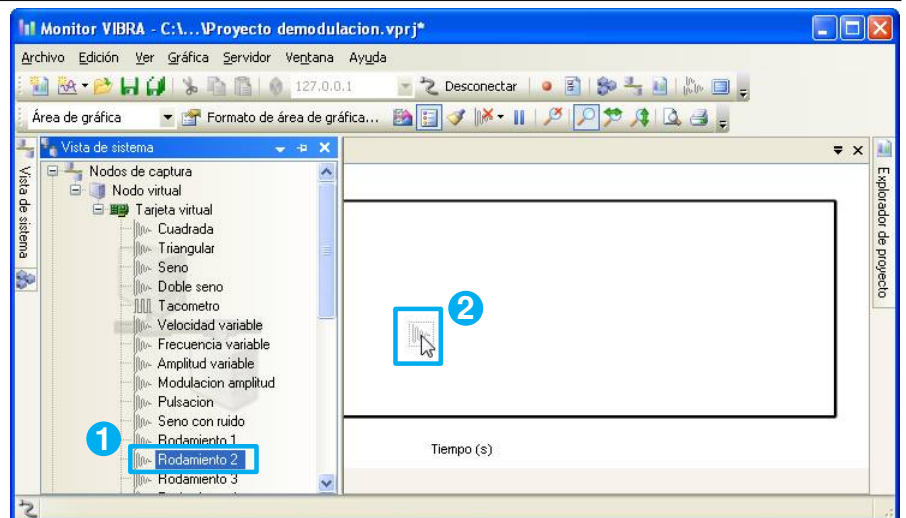


Análisis de la forma de onda

- En el menú **Archivo**, submenú **Agregar nueva gráfica**, haga click en **Forma de onda**.



- En el borde izquierdo de la aplicación, ponga el ratón sobre el botón **Vista de sistema** para desplegar el panel.
- Haga doble click sobre el nodo de captura **Nodo virtual** para mostrar sus tarjetas.
- Haga doble click sobre la tarjeta **Tarjeta virtual** para mostrar sus señales.
- Arrastre y deje caer la señal **Rodamiento 2** (1) sobre la gráfica **Forma de onda** (2).

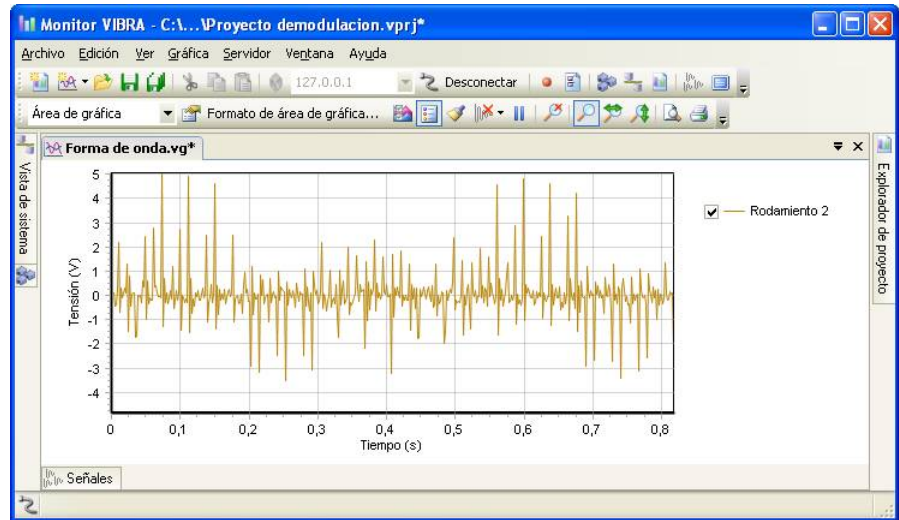


Tutorial 3: Demodulación

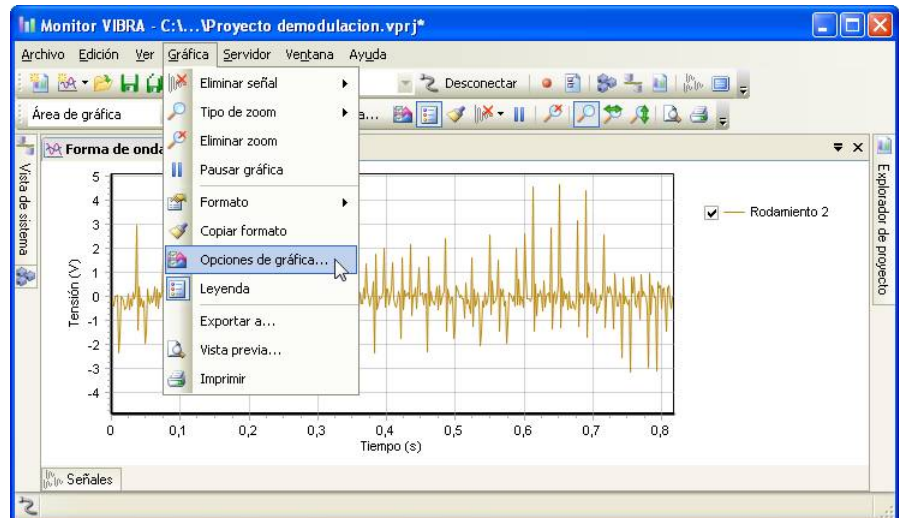
Demodulación en Vibra

En la gráfica puede ver la forma de onda de la señal **Rodamiento 2**. Esta señal simula la vibración generada por un rodamiento con un desperfecto en su pista externa. La BPFO de este rodamiento es de 78 Hz.

A continuación, reduciremos la longitud de la señal en la gráfica para ver con claridad cada uno de los impactos.



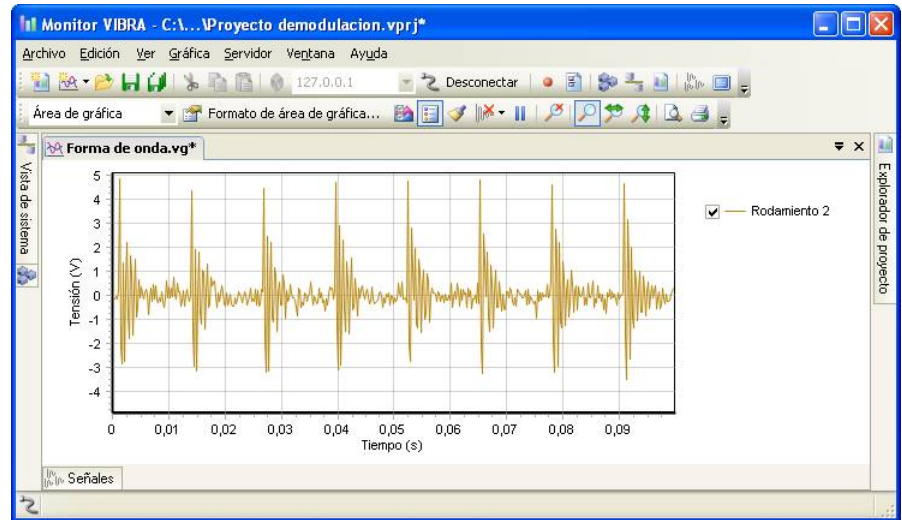
- En el menú **Gráfica**, haga click en **Opciones de gráfica**.



- Haga click sobre la solapa **Eje X**.
- En la sección **Límites**, haga click sobre el check **Automático** asociado al límite **Máximo**.
- Introduzca en el campo **Máximo** el valor **0,1**.
- Haga click en **Aceptar**.

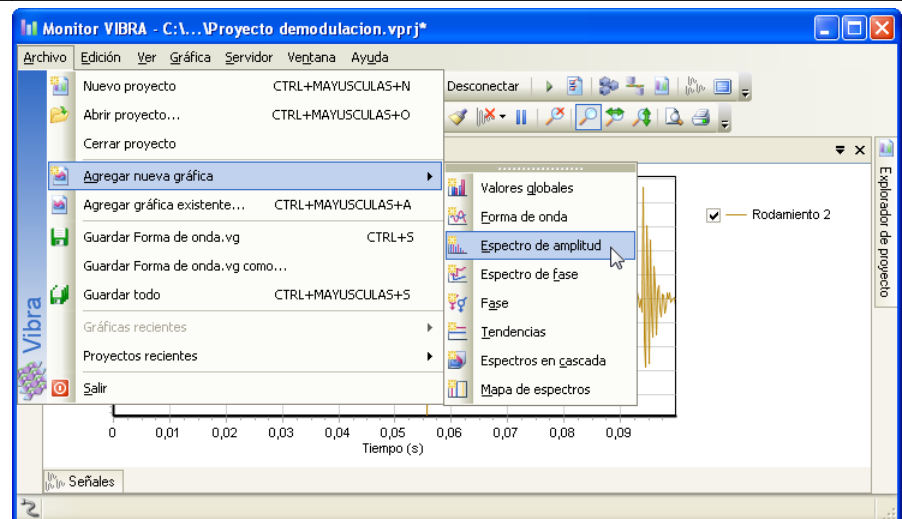
Ahora pueden verse con claridad los impactos generados por las bolas al pasar sobre el defecto en la pista.

Nótese la similitud existente entre esta gráfica y la representada en la Figura 2.

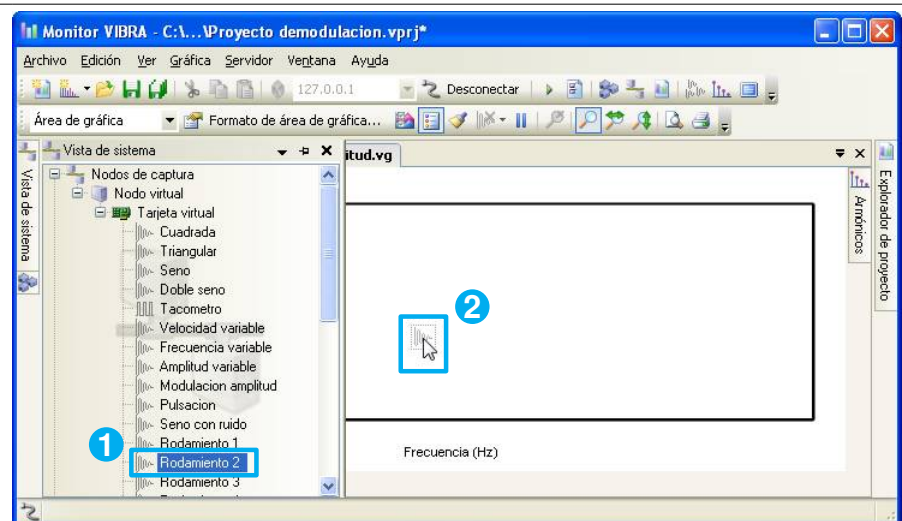


Análisis mediante el espectro estándar

- En el menú **Archivo**, submenú **Agregar nueva gráfica**, haga click en **Espectro de amplitud**.



- En el borde izquierdo de la aplicación, ponga el ratón sobre el botón **Vista de sistema** para desplegar el panel.
- Arrastre y deje caer la señal **Rodamiento 2** (1) sobre la gráfica **Espectro de amplitud** (2).



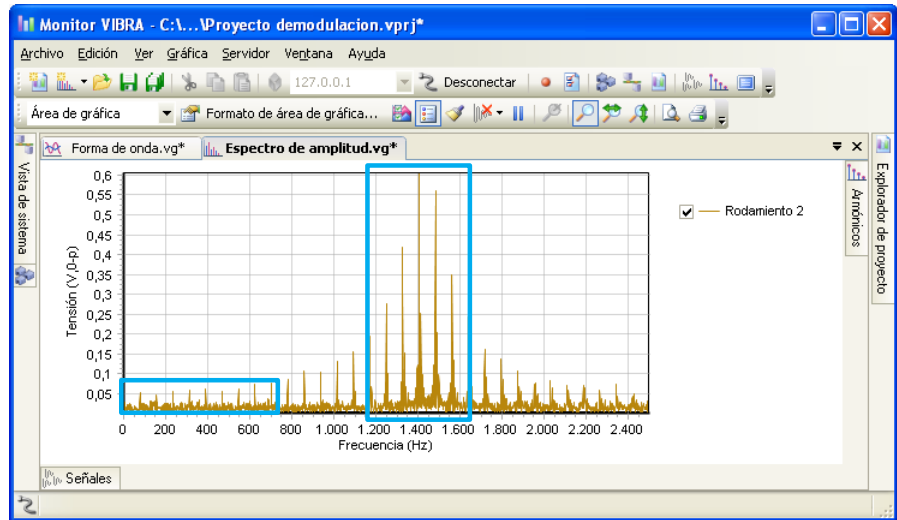
Tutorial 3: Demodulación

Demodulación en Vibra

En el espectro estándar se aprecian múltiples picos en torno a una frecuencia de **1.400 Hz**. Esta frecuencia corresponde a la **frecuencia natural del rodamiento**, la cual, está siendo excitada por los impactos generados por las bolas.

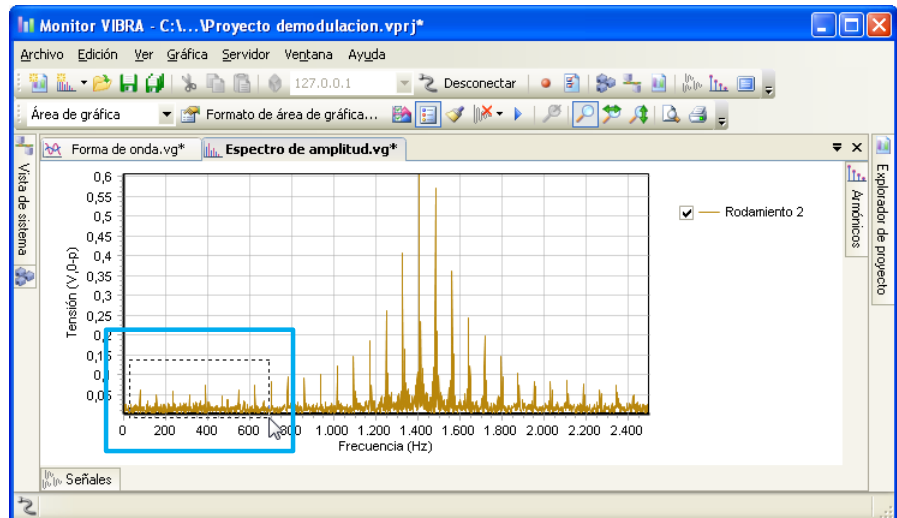
Pueden verse además, múltiples picos en la zona de bajas frecuencias correspondientes a la BPFO y sus armónicos.

Nótese la similitud existente entre esta gráfica y la representada en la Figura 3.



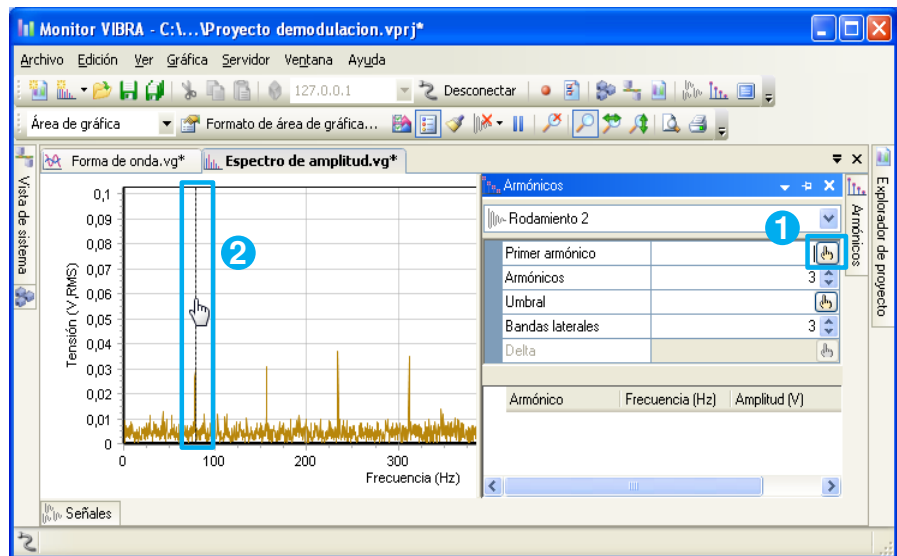
Para realizar un análisis más detallado de la región de bajas frecuencias emplearemos la herramienta de zoom.

- Haga click y mantenga pulsado el ratón en la esquina superior izquierda del área a seleccionar.
- Mueva el ratón hasta la esquina inferior derecha del área a seleccionar.
- Suelte el botón del ratón.



Estudiaremos las frecuencias de estos picos mediante las herramientas de análisis de armónicos.

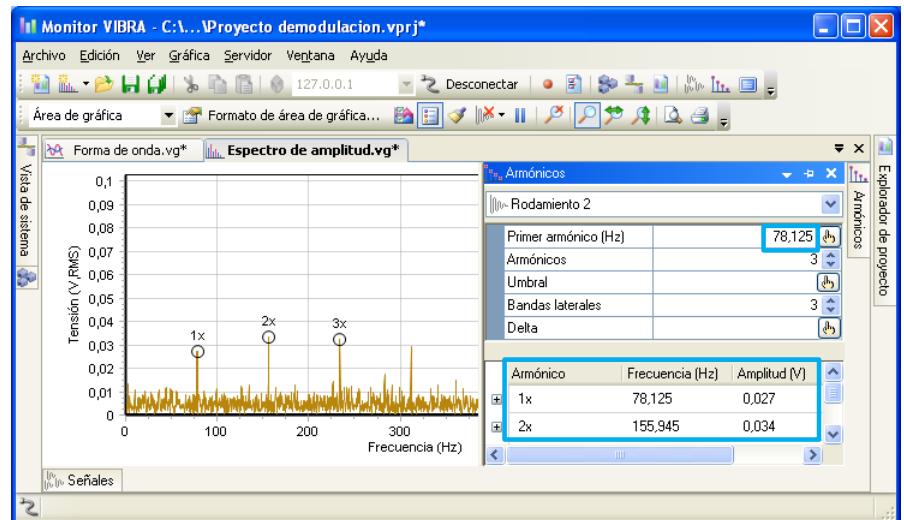
- En el borde derecho de la gráfica **Espectro de amplitud**, coloque el ratón sobre el botón **Armónicos** para desplegar el panel.
- En el campo **Primer armónico**, haga click sobre el botón con el símbolo de una mano (1).
- Desplace el ratón sobre la gráfica y haga click sobre el pico de mayor amplitud (2).



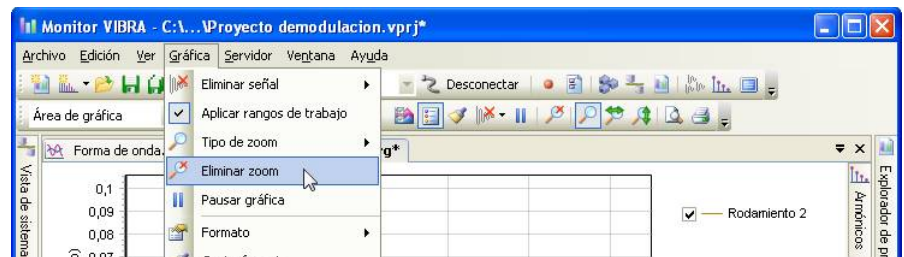
Ahora puede ver marcadas en la gráfica la frecuencia fundamental y sus dos primeros armónicos.

En el campo **Primer armónico** del panel **Armónicos** puede comprobar que la frecuencia fundamental es 78 Hz, es decir, la BPFO del rodamiento.

En la parte inferior del panel **Armónicos** encontrará una tabla con las frecuencias y las amplitudes de todos los picos marcados.

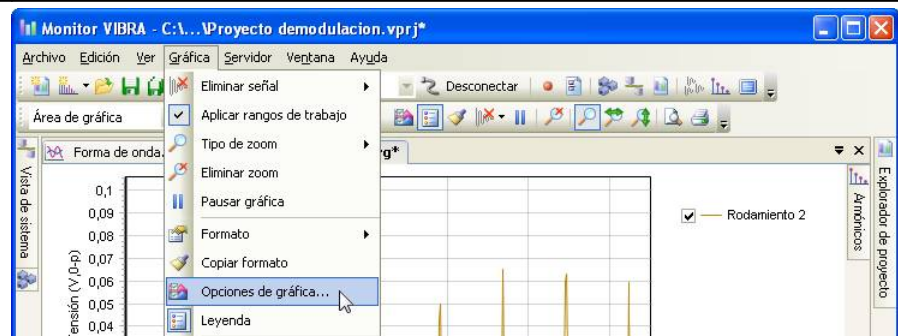


- En el menú **Gráfica**, haga click sobre **Eliminar zoom**.

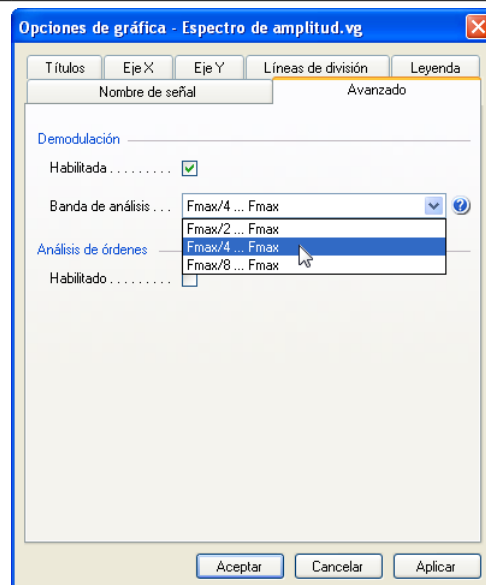


Análisis mediante el espectro de demodulación

- En el menú **Gráfica**, haga click sobre **Opciones de gráfica**.



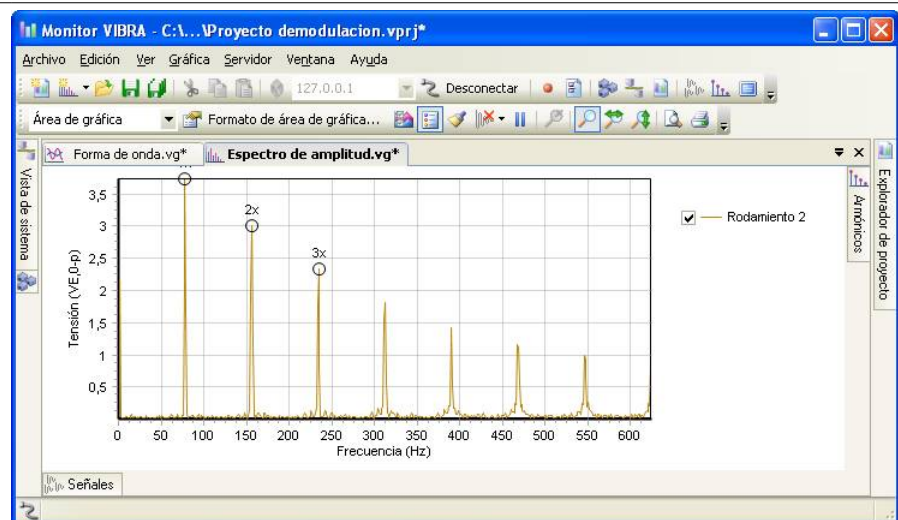
- Haga click sobre la solapa **Avanzado**.
- En la sección **Demodulación**, haga click sobre el check **Habilitada**.
- En el combo **Banda de análisis**, seleccione la banda de **Fmax/4 a Fmax** (que para esta señal equivale a entre 625 Hz y 2.500 Hz).
- Haga click en **Aceptar**.



El criterio a seguir a la hora de seleccionar la banda de análisis es: escoger aquella con el límite inferior lo más alto posible siempre que quede contenida con holgura la frecuencia natural.

En el espectro de demodulación aparece con absoluta claridad el patrón de frecuencias correspondiente al deterioro de la pista externa, es decir: varios picos armónicos de la BPFO (78 Hz).

Nótese que la relación señal ruido en este caso es muy superior a la obtenida mediante el espectro estándar.

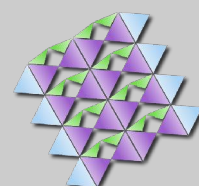


Para cualquier cuestión relativa a este documento, por favor, no dude en ponerse en contacto con nosotros a través de la dirección de correo sinais@sinais.es.

Sinais Ingeniería, S.L.

Avda. Doutor Tourón 46, Oficina 3
36600 Vilagarcía de Arousa
Pontevedra (Spain)

<http://www.sinais.es>



Sinais
Ingeniería de mantenimiento