

**Universidad Nacional de Rafaela -UNRaf-**

**Procesamiento de señales e imágenes**

**Trabajo Práctico N°4**

**Aplicaciones Prácticas de  
Filtros Digitales.  
Transformadas y Series de Fourier**

**Profesores:  
Ing. Sebastian, Herrera  
Ing. Guillermo Bernasconi**

**Alumno: Alexis Gon**

**Fecha: 20/06/2023**

## Tabla de contenido

<b>Introducción:</b> .....	<b>2</b>
Los filtros digitales.....	2
Transformadas y Series de Fourier.....	2
<b>Mantenimiento Preventivo Predictivo.....</b>	<b>4</b>
Tipos de mantenimiento industrial.....	4
Mantenimiento correctivo.....	4
Mantenimiento preventivo.....	4
Mantenimiento predictivo.....	5
<b>Análisis de vibraciones.....</b>	<b>6</b>
<b>Monitoreo de vibraciones.....</b>	<b>6</b>
<b>Ejemplo práctico.....</b>	<b>7</b>
<b>Páginas / documentos de referencia.....</b>	<b>8</b>

## Introducción:

El análisis de señales tiene un campo de acción muy amplio, ya que su aplicación se establece en gran cantidad de ámbitos, compresión de audio y procesamiento de señales, procesamiento digital de imágenes y gráficos, reconocimiento y procesamiento de voz, aplicaciones geofísicas, son solo algunos de los ámbitos en los cuales se emplea.

Al obtener una determinada señal, por ejemplo de un micrófono, no solo se obtiene la de interés, sino también otras que son capturadas por el sensor que no resultan de interés para el trabajo realizado. Debido a esto es necesario realizar un procesamiento que permita por un lado filtrar las señales espúreas y por el otro realizar una comprensión de la información que resulta relevante para la persona que está realizando el estudio.

Para ello se pueden utilizar diversas herramientas para dicho procesamiento, dos de ellas son los Filtros Digitales y las Transformadas y Series de Fourier.

## Los filtros digitales

El término filtro se utiliza habitualmente para describir un dispositivo que discrimina de acuerdo con algún atributo de los objetos aplicados a su entrada, su paso o no a través de él. Por ejemplo, un filtro de aire deja pasar el aire e impide el paso a las partículas de polvo presentes en este. Un filtro de aceite realiza una función similar, recolectando las partículas de suciedad en la entrada del filtro y evitándose que pasen a través del mismo.

En lo que respecta al filtrado para sistemas digitales esta acción está determinada por la respuesta en frecuencia, que a su vez depende de la elección de los parámetros del sistema. Por lo tanto, seleccionando adecuadamente los coeficientes, es posible diseñar filtros selectivos de frecuencia que dejan pasar señales con componentes de frecuencia en determinadas bandas mientras que atenúan señales que contienen frecuencias en otras bandas.

El filtrado se emplea de formas muy variadas en el procesamiento digital de señales; por ejemplo, para eliminar el ruido indeseado que pueda existir en las señales deseadas, para conformación espectral en la ecualización de canales de comunicación, en la detección de señales de radar, sonar y de comunicaciones y para realizar el análisis espectral de señales, etc.

## Transformadas y Series de Fourier

Las transformadas y series de Fourier son herramientas matemáticas utilizadas en el análisis de señales y fenómenos periódicos.

*La transformada de Fourier* es una operación matemática que descompone una señal en el dominio del tiempo en sus componentes de frecuencia. Permite analizar una señal en términos de las frecuencias que la componen. La transformada de Fourier se puede aplicar tanto a señales continuas (Transformada de Fourier continua) como a señales discretas (Transformada de Fourier discreta), como en el caso de las señales digitales. La transformada de Fourier discreta es ampliamente utilizada en el procesamiento digital de señales.

*La Serie de Fourier* es una representación matemática que permite descomponer una señal periódica en una suma infinita de componentes armónicos, conocidos como armónicos de

Fourier. Estos armónicos están compuestos por sinusoides con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la señal periódica. La serie de Fourier se utiliza para analizar y sintetizar señales periódicas y permite estudiar sus propiedades en el dominio de la frecuencia.

Tanto la transformada de Fourier como la serie de Fourier son fundamentales en el análisis y procesamiento de señales. Permiten comprender las características espectrales de una señal, identificar sus componentes de frecuencia, filtrar o modificar dichos componentes, y realizar operaciones de convolución, entre otras aplicaciones.

Como se pudo observar el empleo de estas herramientas permiten el procesamiento de señales para su análisis. En el presente trabajo se mostrará la aplicación de estas herramientas para el análisis de señales con el objetivo de prevenir roturas en maquinarias a nivel industrial, es decir Mantenimiento Preventivo Predictivo.

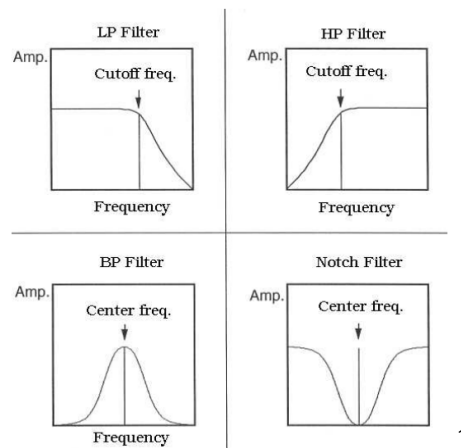


Figura 1: ejemplos de tipos de filtros: LP(Paso bajo) / HP(Paso Alto) / BP(Pasa banda) / Notch Filter(Rechaza banda).

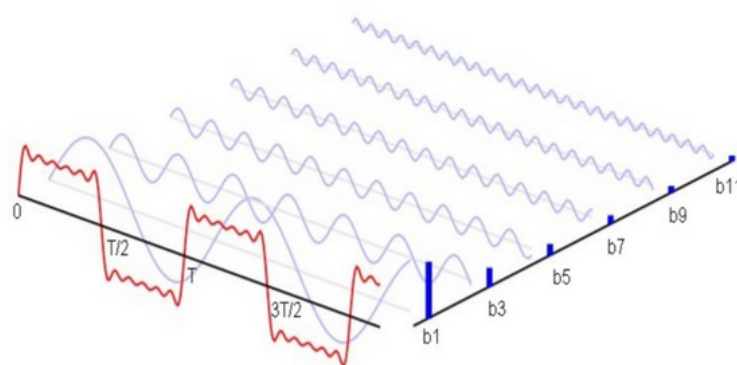


Figura 2: En color azul se muestran los seis primeros armónicos no nulos de la serie de Fourier correspondiente a una señal de forma de onda cuadrada. La sumatoria estos armónicos da lugar a la señal de color rojo.

<sup>1</sup> Extraído de <https://procesamientdelso.files.wordpress.com/2012/02/tema7-filtrosdigitales.pdf> el 20-06-2023 a las 13:43.

<sup>2</sup> Extraído de <https://www.lifeder.com/series-de-fourier/> el 20-06-2023 a las 14:23h.

## Mantenimiento Preventivo Predictivo

El mantenimiento de un equipo resulta fundamental en cualquier ámbito que se lo utilice, ya sea a nivel hogareño o bien industrial, asegura la disponibilidad del mismo y un óptimo funcionamiento que se ve directamente reflejado en su operación, en la cantidad de recursos que requiera para funcionar, en el tiempo productivo, etc. Como ejemplo de esto podemos citar un removedor de líquido colocado en un silo de acopio de una industria manufacturera, el cual tiene una pérdida de aceite en su caja reductora. Dicha pérdida si no es detectada a tiempo, no solo reduce la vida útil de todo el conjunto, sino que también puede dejar fuera de servicio el silo completo al detenerse por rotura. Por otra parte la escasez de lubricación produce un aumento de temperatura, como así también un desperdicio de energía ya que el motor realiza un mayor esfuerzo.

Es por ello que el correcto mantenimiento de un equipo resulta fundamental para evitar contratiempos y pérdidas innecesarias. A continuación se listan de manera generalizada los tipos de mantenimiento que existen a nivel industrial haciendo hincapié en los preventivos / predictivos que serán orientados al análisis de vibraciones para la detección de averías.

## Tipos de mantenimiento industrial

### Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se lleva a cabo después de que se haya detectado una avería o defecto en un equipo o en una línea de producción. Su objetivo es hacer que el equipo vuelva a funcionar normalmente, para que pueda realizar su función celeridad posible.

El mantenimiento correctivo puede planificarse o no, dependiendo si se ha creado o no un plan de mantenimiento.

El mantenimiento correctivo no planificado puede resultar más costoso que el planificado, ya que puede dar lugar a costes que no podrían haberse previsto.

### Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se aplica antes de que se produzca cualquier avería o fallo. Su objetivo es reducir la probabilidad de avería o degradación de un equipo, componente o pieza de repuesto.

Para poder implementar este tipo de mantenimiento, los equipos deben tener en cuenta el historial de la pieza y hacer un seguimiento de las fallas del pasado. Por lo tanto, pueden identificar los intervalos de tiempo durante los cuales un equipo podría averiarse.

Este tipo de mantenimiento se describe como planificado porque se basa en programas de mantenimiento establecidos y en hechos concretos.

Los técnicos, gracias a su trabajo y a la información que obtienen, construyen progresivamente un historial de averías y fallas que han sufrido las maquinaria y equipos de producción.

Una vez que toda la información ha sido analizada, es posible, determinar con qué frecuencia se ha llevado a cabo una acción de mantenimiento, conocer el stock de los

recambios de las diferentes piezas del equipo y anticipar los tiempos de inactividad imprevistos para reaccionar en consecuencia entre otras actividades.

## Mantenimiento predictivo

El objetivo del mantenimiento predictivo es, en primer lugar, predecir cuándo puede producirse una avería en el equipo y, en segundo lugar, evitar que se produzca la avería mediante la realización del mantenimiento en forma planificada, antes de que se produzca la avería.

Los equipos de monitoreo que se utilizan para evaluar el rendimiento y estado de una máquina en tiempo real utilizan tecnologías que incluyen el *análisis de vibraciones*, *análisis de aceite y fluidos*, *análisis de ruidos*, *termografías* y *visualización de equipos*.

El mantenimiento predictivo permite que la frecuencia de mantenimiento sea lo más baja posible para prevenir el mantenimiento correctivo no planificado, sin incurrir en costos asociados al realizar mantenimiento preventivo en exceso.

Al funcionar en forma eficaz, el mantenimiento sólo se realiza en el momento que es necesario. Es decir, justo antes de que se produzca la falla o avería. Esto trae consigo varios ahorros de costes cómo:

- Minimizar el tiempo de mantenimiento del equipo.
- Minimizar las horas de producción perdidas por mantenimiento.
- Reducir al mínimo el costo de las piezas de repuesto y los suministros.

En comparación con el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo garantiza que un equipo que requiere mantenimiento sólo se apague justo antes de un fallo inminente. Esto reduce el tiempo y el costo total de mantenimiento en los equipos.



Figura 3: Curva D-I-P-F, grafica las evidencias de fallas de un sistema. El punto "D" se termina al finalizar el diseño del activo, el punto "I" corresponde al momento en el cual el activo queda instalado en la planta. El activo queda en funcionamiento y es la zona en la cual se realiza mantenimiento PREDICTIVO. Las fallas ocultas pueden deteriorar el funcionamiento en el que se detecta una Falla Potencial, indicada por el punto "P". Las evidencias del deterioro son ruido audible, aumento notable de la temperatura, y aparición de olor, llevando a fallas de subsistemas o la falla del sistema completo, en el punto "F".

<sup>3</sup> Extraído de <https://terative.com.ar/mantenimiento-predictivo/> el 20-06-2023 a las 16:42h.

## Análisis de vibraciones

Se entiende por vibración a un movimiento armónico de muy pequeña amplitud que se suele detectar en una carcasa o en un eje de la máquina. El proceso de análisis de estas vibraciones, se refiere a la medición de los niveles y frecuencias de vibración de la maquinaria industrial, y a la utilización de esa información para determinar la “salud” del equipo y sus componentes. Es una herramienta utilizada para identificar, predecir y prevenir fallas en las máquinas rotativas.

Cuando una máquina industrial (como un ventilador o una bomba) está operativa, genera vibración. Esta vibración puede ser medida, usando un dispositivo llamado acelerómetro. El cual genera una señal de voltaje, proporcional a la cantidad de vibración, así como a la frecuencia de vibración, o a cuántas veces por segundo o minutos se produce la vibración.

Esta señal de voltaje del acelerómetro está conectada a un colector de datos, que registra la señal ya sea como una forma de onda de tiempo (amplitud vs. tiempo), como una Transformada Rápida de Fourier (amplitud vs. frecuencia), o como ambas.

Los datos analizados se utilizan para determinar la “salud” de la máquina e identificar cualquier problema inminente en la maquinaria, como desalineación, desequilibrio, un problema de cojinetes o lubricación, piezas deformadas, entre otras.

En la mayoría de los casos, puede detectar estos problemas mucho antes de que el daño se evidencie, y mucho antes de que dañe otros componentes de la máquina. La aplicación del análisis de vibración, monitoreo de las condiciones, o mantenimiento predictivo ha hecho grandes avances aumentando la vida útil de la maquinaria.

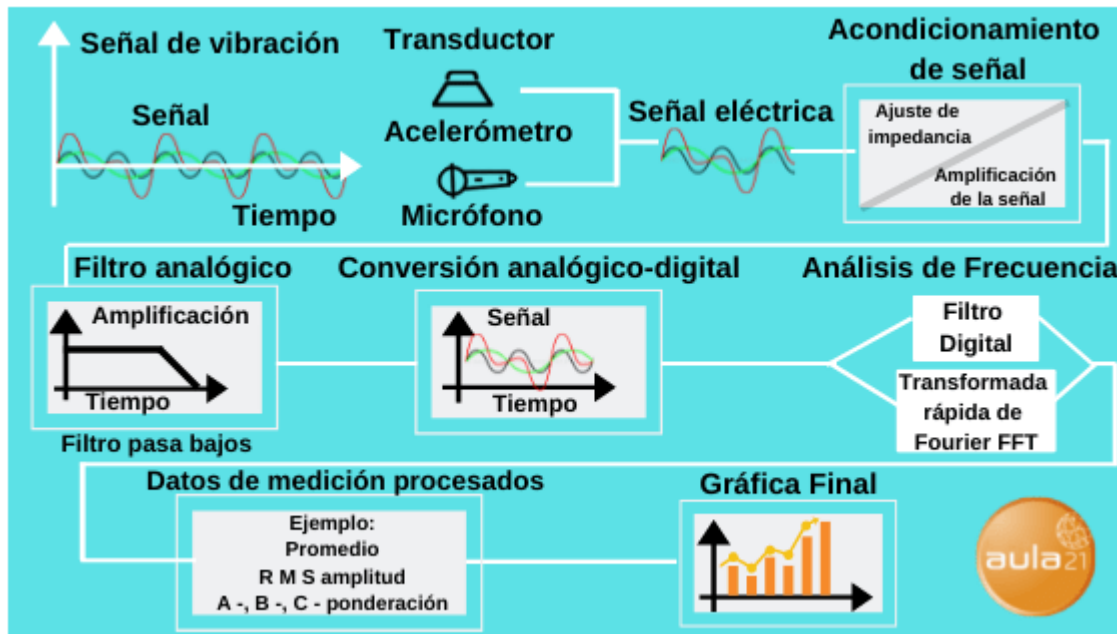
Existen fallas características en la rotación de las máquinas que se pueden identificar mediante la medición y el análisis de la vibración generada por la máquina entre ellas están:

- Máquina desequilibrada
- Resonancia
- Ejes doblados
- Mal estado de los cojinetes y rodamientos
- Sujeción adecuada del equipo
- Recirculación y Cavitación
- Fallos en el motor (rotor y estator)
- Soltura mecánica
- Velocidades críticas de la máquina
- Estado de los lubricantes

## Monitoreo de vibraciones

El Monitoreo de vibraciones proporciona menores costes de operación. La adquisición automática de datos elimina los costes de mano de obra asociados a la recolección de los datos de vibración de la máquina y mayor calidad en la recolección de datos.

La precisión de la medición de datos es mayor, ya que los datos siempre se miden exactamente en el mismo lugar y con el mismo sensor, y además podemos condicionar la recolección de datos a determinadas condiciones de funcionamiento de la máquina (velocidad y carga).



4

Figura 4: Esquema del proceso de análisis de vibraciones desde la captura de los datos hasta su exposición mediante gráficos. Se puede notar el uso de un filtro pasa bajo para filtrado de la señal y la implementación de la transformada rápida de Fourier para su análisis.

## Ejemplo práctico

A continuación se plantea un ejemplo utilizando Python el mismo consiste en la aplicación de un filtro paso bajo y la transformada de Fourier en una señal producida por un motor eléctrico durante su funcionamiento en "régimen normal". Se contrasta con la misma señal a la cual se le adiciona una componente de 69 hz simulando una falla en el motor. El objetivo es demostrar que una falla genera un nuevo componente en el espectro de la frecuencia evidenciando una anomalía. Cabe destacar que se toma como patrón de funcionamiento normal del motor un audio obtenido de <https://www.mediafire.com/folder/1ektegdw8pysz/>, al cual se le agrega intencionalmente otra frecuencia para demostrar el uso del análisis de vibraciones en el mantenimiento predictivo.

Dirección del código:

<https://colab.research.google.com/drive/1wKh4UYfls25OMMDZT6MIIEHso3MbHyci?usp=sharing>

<sup>4</sup> Extraído de <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-analisis-de-vibraciones/> el 20-06-2023 a las 17:14h.



## Páginas / documentos de referencia

<https://processamentdelso.files.wordpress.com/2012/02/tema7-filtrosdigitales.pdf>

<https://dademuch.com/2017/11/13/sistemas-ldcid-modeling-fundamentos/>

Audio motor eléctrico: <https://www.mediafire.com/folder/1ektegdw8pysz/>

<https://www.cursosaula21.com/tipos-de-mantenimiento-industrial/>

<https://www.cursosaula21.com/que-es-el-analisis-de-vibraciones/>

<https://terative.com.ar/mantenimiento-predictivo/>

<https://www.lifeder.com/series-de-fourier/>

<https://chat.openai.com/>

Versión digital traducida del libro TRATAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES / Cuarta Edición / JOHN G. PROAKIS / Department of Electrical and Computer Engineering / Northeastern University / Boston, Massachusetts / DIMITRIS G. MANOLAKIS / MIT Lincoln Laboratory / Lexington, Massachusetts / Traducción Vuelapluma