# LABORATORIO #5 ANÁLISIS EN FRECUENCIA

Profesor: M.C. Fernando Hermosillo Reynoso

# **Nombre del Alumno:**

**ID:**

Instrucciones; *Lee cuidadosamente y contesta lo que se te pregunta*.

1. **OBJETIVOS**

Al finalizar este laboratorio el alumno:

1. Será capaz llevar a la practica el análisis en frecuencia de sistemas discretos.
2. Comprenderá la importancia del análisis de frecuencia en el diseño de sistemas discretos.
3. Será capaz de diseñar los filtros básicos (pasa bajas, pasa altas, pasa bandas, rechaza bandas) en un microcontrolador
4. **MATERIAL**

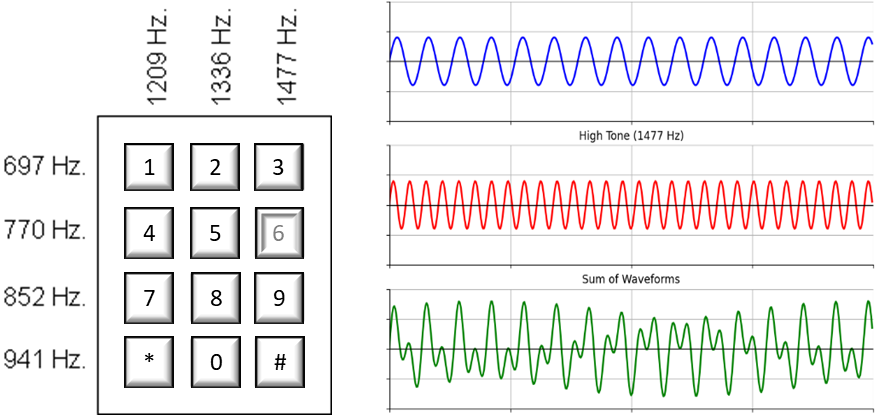
* Microcontrolador ESP32
* Tarjeta de audio I2S MAX98357/PCM5102
* Bocina de 4/8 Ω o en su defecto auriculares con conexión Jack 3.5mm

1. **MARCO TEÓRICO**
2. **Filtros Digitales**

Como se comentaba en teoría, un modelo clásico de señales de audio es por medio de la combinación lineal de señales sinusoidales (véase la Ecuación 1).

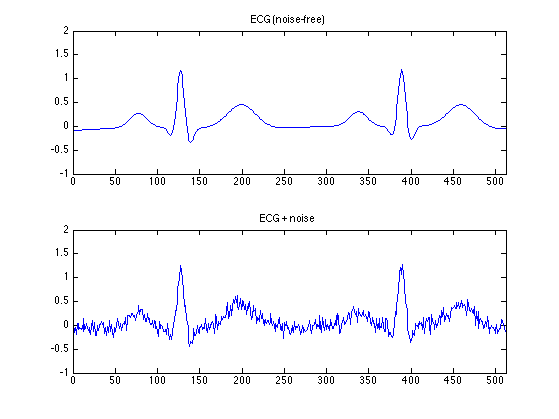
En el procesamiento de señales (PDS), comúnmente se busca eliminar componentes frecuenciales que forman parte de la señal , tales como el ruido aleatorio, o simplemente extraer información útil de la señal.

Por ejemplo, en telefonía, el sistema de marcación por tonos (sistema multifrecuencia o DTMF), es un método de señalización que básicamente transmite una señal compuesta por dos tonos sinusoidales de frecuencias y , donde las frecuencias de estos dos tonos son únicas y son llamadas de baja y alta frecuencia, siendo asociadas a cada tecla del teléfono (), véase la **Figura 1**. La señal resultante, la cual contiene la información de la tecla que se presionó, se genera desde un abonado origen (el que marca), y se propaga hacia el conmutador (central), que será encargado de enlazar o conmutar la llamada hacia el abonado destino. Sin embargo, la señal que se recibe en el conmutador comúnmente llega con distorsiones por los efectos del medio de propagación y la distancia recorrida. Por ello, la tarea del conmutador es filtrar y detectar las frecuencias asociadas a cada tecla que recibe (ver **Figura 1**).



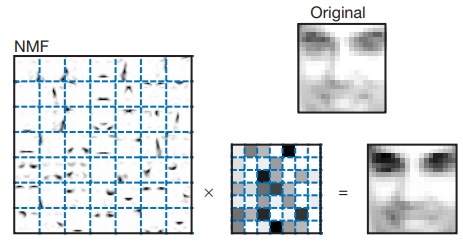
**Figura 1**. Problema DTMF

Otros ejemplos similares los encontramos en las señales leídas por un electrocardiograma (ECG), donde comúnmente la información útil (ancho de banda) de estas señales es de 0 a 125 Hz. Nuevamente, los efectos del canal (medio de transmisión de la señal), afecta o distorsiona la señal, añadiendo componentes frecuencias por arriba del ancho de banda de estas señales. Esto anterior se traduce a una posible mala interpretación de las mediciones obtenidas.



**Figura 2**. Problema de ECG

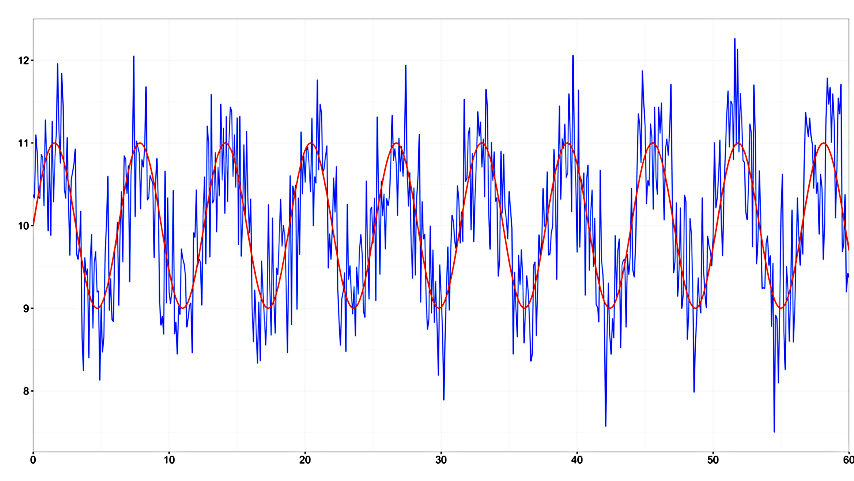
Finalmente, un tipo de sistemas de inteligencia artificial (AI), son aquellos que realizan la tarea de detección de objetos en imágenes, como números, letras, animales, vehículos, personas, etc. Típicamente, estos sistemas, aplican filtros digitales que buscan extraer características asociadas a los objetos de interés, en general bordes, y texturas. Por lo tanto, un sistema AI requiere aprender esos filtros digitales que extraerán la información requerida para discernir un objeto de otro.



**Figura 3**. Extracción de características para un detector de rostros

1. **Diseño de Filtros Digitales FIR en el Dominio de la Frecuencia**

Una vez especificado que es un filtro digital, y sus aplicaciones potenciales, en este laboratorio vamos a abordar una técnica de diseño de filtros digitales, específicos para la eliminación de componentes frecuenciales, orientado a señales de audio (ecualizadores), o señales provenientes de sensores (termopar, PT100, acelerómetros, etc). Sin embargo, es su empleo en señales más complejas, como en imágenes (que será abordado más adelante), es relativamente similar.



**Figura 4**. Filtro digital

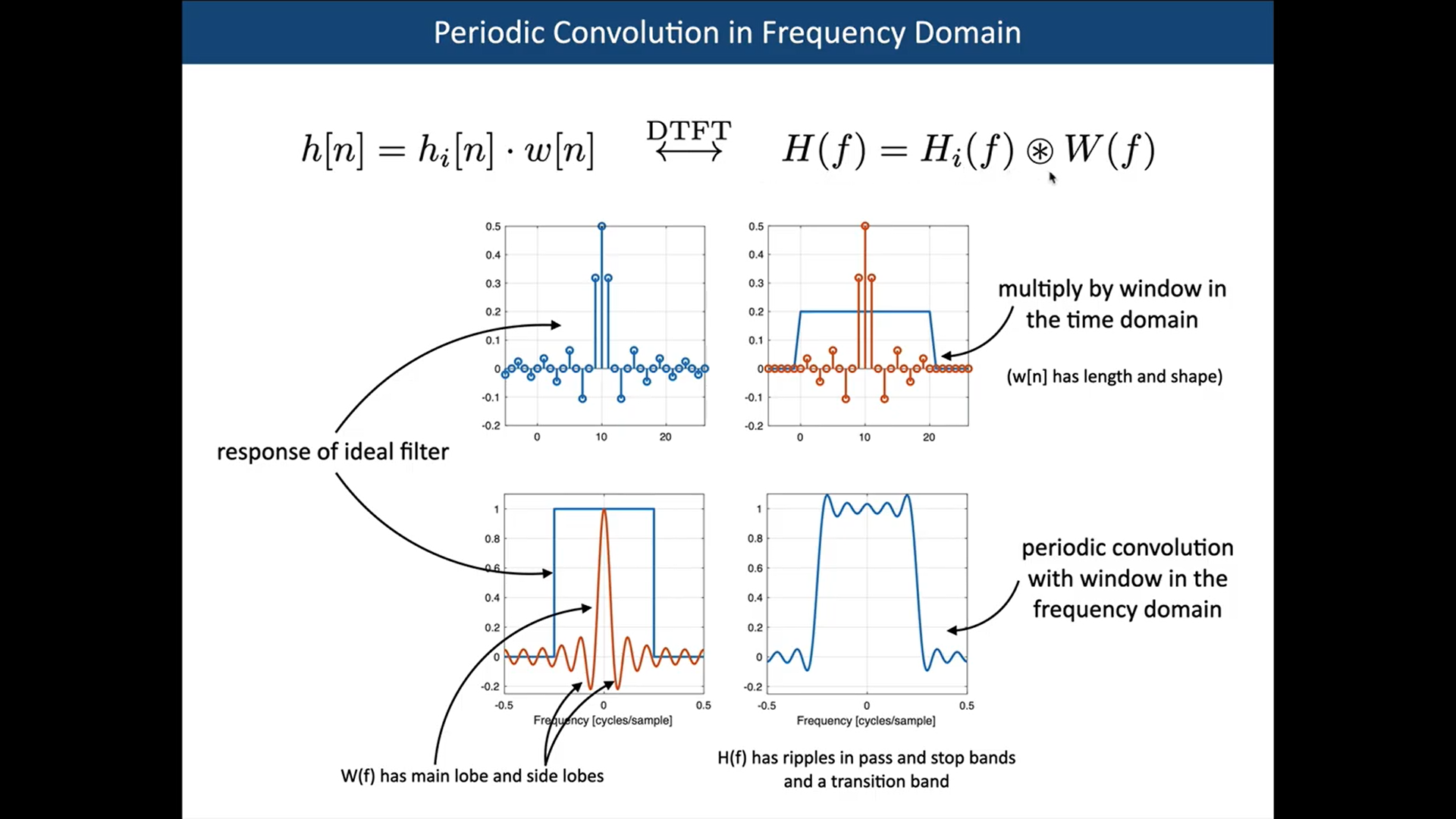
Este método se conoce como truncamiento o ventaneo de la respuesta al impulso ideal de los filtros pasa bajas, altas, bandas y rechaza bandas.

**Filtro Pasa Bajas**

Típicamente, la respuesta al impulso ideal de un filtro pasa-bajas permite inhibir aquellas frecuencias que sean superiores a cierta frecuencia , denominada de corte. En ese sentido, su respuesta en frecuencia esta dada por la ecuación:

A fin de encontrar su respuesta al impulso , necesitamos llevar el dominio de la frecuencia al dominio del tiempo por medio de la Transformada de Fourier de Tiempo Discreto (DTFT). Se debe recordar que se está trabajando en el dominio discreto, por lo que .

El mayor problema de esta respuesta al impulso es que es de duración infinita, y no puede ser implementada como un sistema FIR. Por ello, una técnica que resuelve este inconveniente es ventaneo en tiempo, la cual consta de atrasar la respuesta al impulso , veces, es decir , y posteriormente, tomar los primeros términos de esta expresión (véase la Figura 5).



**Figura 5**. Técnica de ventaneo.

Para detalles específicos, consulte en la plataforma la presentación “Respuesta en Frecuencia – Filtro Pasa Bajas Ideal” en la sección “NOTAS” en teoría.

1. **DESARROLLO**

En la plataforma Moodle, descargue la plantilla de Arduino (.ino) asociada al laboratorio #5.

Vamos a diseñar un filtro pasa-bajas a una frecuencia de corte , a una frecuencia de muestreo de para . Para ello siga los siguientes pasos.

1. Normalice la frecuencia con la frecuencia de muestreo , para obtener la frecuencia digital . Posteriormente
2. Aplique el desplazamiento a la respuesta al impulso , con ello obtendrá y posteriormente tome los valores de las primeras muestras de a fin de formar la nueva respuesta al impulso . Este paso se puede resumir a que:

Recuerde que

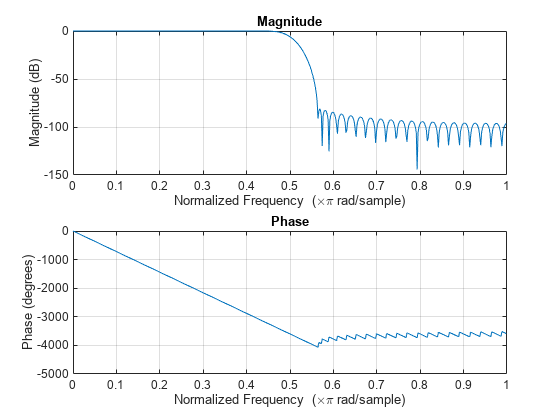
1. A fin de implementar el sistema en un microcontrolador, aplique la convolución de una entrada con la respuesta al impulso obtenida .
2. O en formato de ecuación en diferencias:

A fin de evaluar el sistema, puede ingresar a la siguiente url “[Online Tone Generator](https://onlinetonegenerator.com/)” y generar una señal senoidal a distintas frecuencias.

**Nota**: Si quisiera obtener la respuesta en frecuencia de este sistema, en Matlab puede aplicar el comando:

Estas líneas nos graficarán la respuesta en magnitud y la fase asociada al sistema.

Recuerde de que debe de definir correctamente a h.



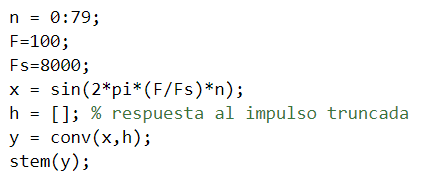
**Figura 6**. Este es un ejemplo de la respuesta en frecuencia de cierto sistema, no para el del ejercicio.

1. **CUESTIONARIO**

Responda a las siguientes preguntas:

1. Si aplica el sistema a una entrada , donde , y , ¿Debería dejar pasar la señal el filtro, o atenuarla? ¿Existe algún retardo en la salida respecto a la entrada?

Para ello puede implementar en Matlab o siguiente:



1. Grafique la respuesta al impulso truncada en Matlab
2. Grafique la respuesta en frecuencia en Matlab:
   1. Obtenga los valores de la respuesta en frecuencia: definiendo previamente a h, y a Fs. H representa a y F las frecuencias en tiempo continúo analizadas.
3. Con base a la respuesta en frecuencia, ¿qué valor de magnitud nos da la respuesta en frecuencia para una frecuencia de 100Hz?
   1. Puede obtener la magnitud . Y para buscar en una frecuencia en especifico , donde Fx es la frecuencia a buscar.
4. ¿Qué valor de fase nos da a la frecuencia de 100Hz?
   1. Para obtener la fase: donde tiene valores ángulos en radianes.
5. Replique los pasos 1 – 5, pero para una frecuencia de , es decir la señal de entrada deberá ser la señal discretizada a una frecuencia de muestreo de 8000Hz, y la variable n deberá ir de 0 a N-1, donde N es el periodo fundamental de la señal .
6. Finalmente, calcule para y grafique su respuesta en frecuencia. ¿Qué sucede cuando M se incrementa? Anexe las gráficas.
   1. Puede hacer uso de Matlab para calcular la respuesta en frecuencia.