

Práctica no. 3. Caracterización Experimental Temporal y Espectral de un Oscilador en Cuadratura.

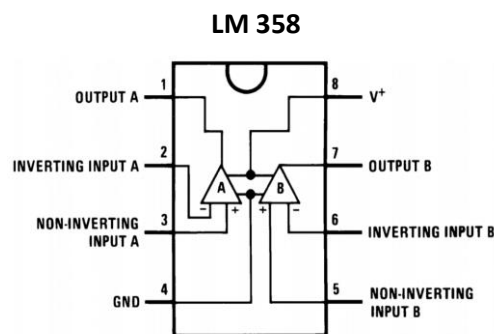
Para poder entender adecuadamente el funcionamiento del oscilador en cuadratura y las medidas experimentales que haremos sobre él, es necesario estudiar previamente el estudio analítico de la Práctica no. 3.

Valores de resistencias: $R1 = R2 = R3 = R = 1500\Omega$ con tolerancias del 5%. Código de Color: Marrón, Verde, Rojo.

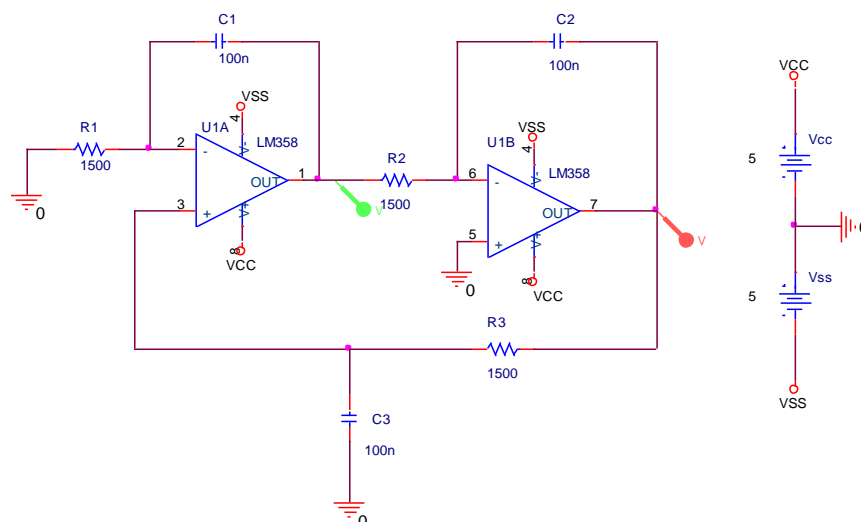
Valores de condensadores: $C1 = C2 = C3 = C = 100nF$ con tolerancias del 20%. Se indica su valor en la carcasa serigraviado en picofaradios.

Calcular la frecuencia de oscilación nominal y las frecuencias máximas y mínimas posibles y anotar en la Hoja de Resultados.

Haremos uso del circuito integrado LM358 de la firma Texas-Instruments que contiene dos amplificadores operacionales con la siguiente distribución de pines:

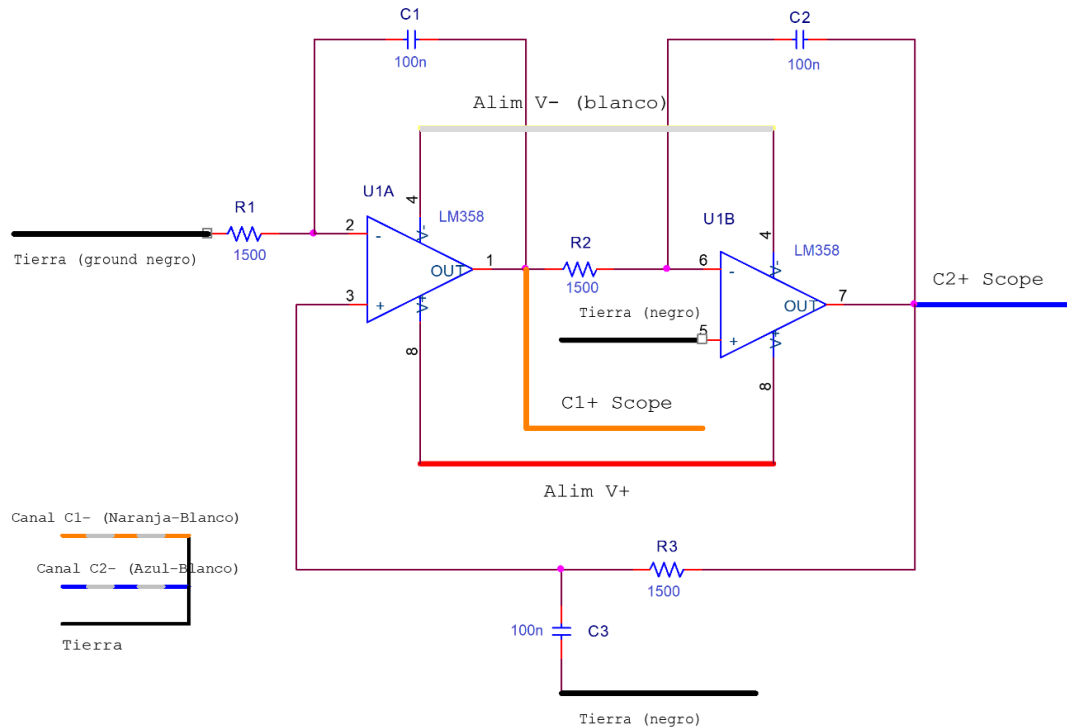


El esquemático del circuito indica correctamente el número de cada pin:



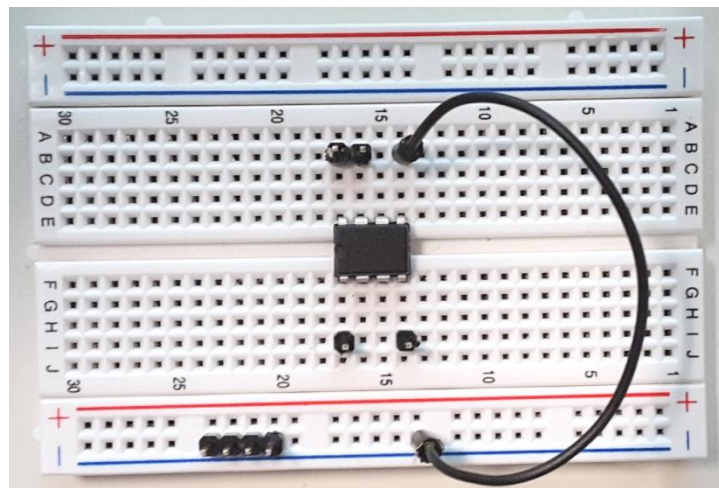
- **Montaje experimental.**

Montemos el circuito de acuerdo con el esquemático y siguiendo el código de colores del módulo Analog Discovery 2. Los números en los AOs se corresponden con el número de pin.

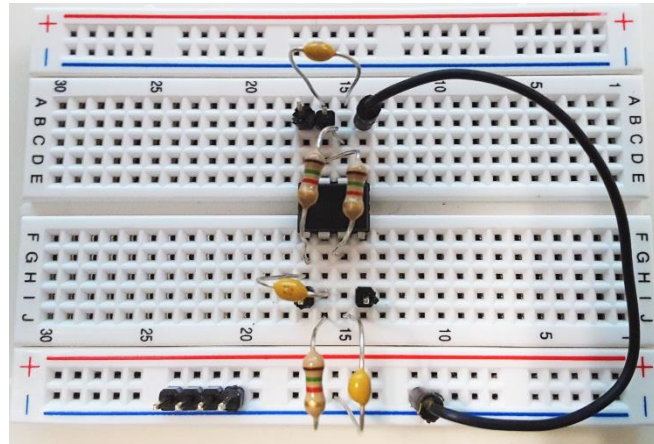


Dado que el circuito tiene una cierta complejidad, es conveniente planificar el montaje por partes. El montaje se debe realizar siempre mirando el esquemático de forma razonada y sin copiar sin mas lo que se ve en la foto, ya que se corre el riesgo de cometer un error.

1. Montar el chip junto con los pads de conexión externos. Observad que hay que llevar un hilo desde la línea de tierra al pin no. 5 del circuito integrado:

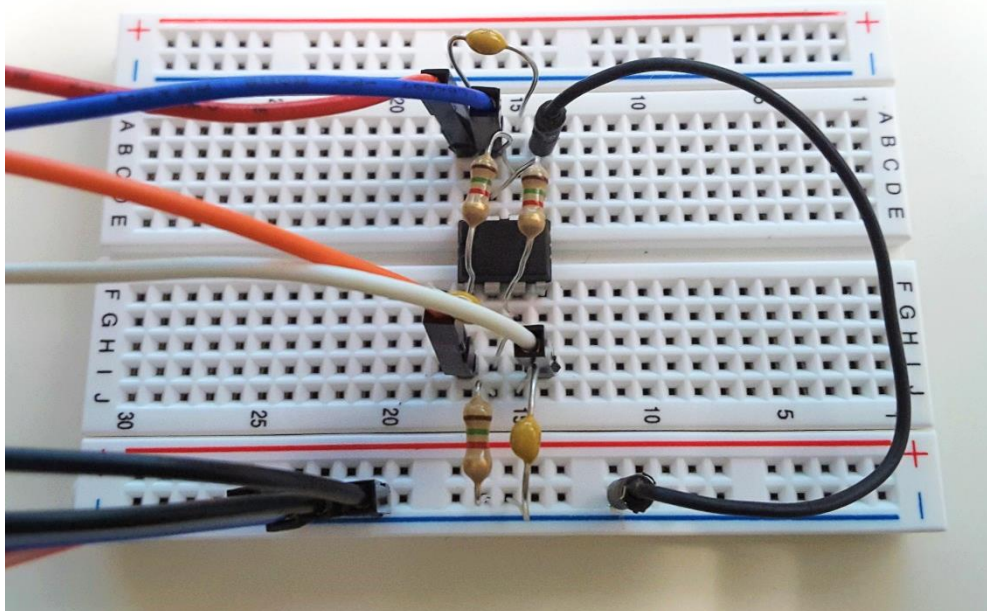


2. Montar los componentes. Ojo con los cortocircuitos en el posible cruce de hilos y la posibilidad de que se toquen.



3. Conectar con el módulo Analog-Discovery 2:

Se muestran fotos de una posible realización. Procurar conectar todas las tierras del módulo al mismo lugar para evitar ruidos de lazos de tierra.

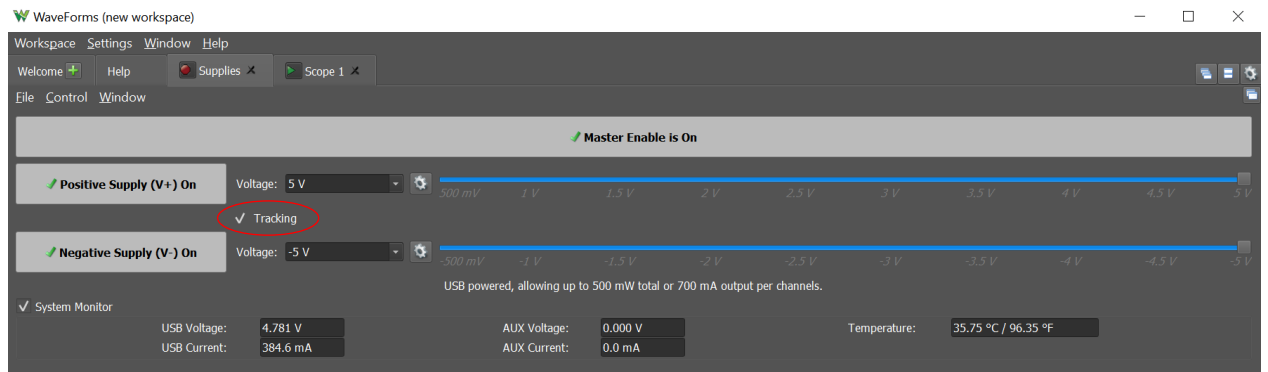


Hacer foto del circuito montado y adjuntarlo a la Hoja de Resultados.

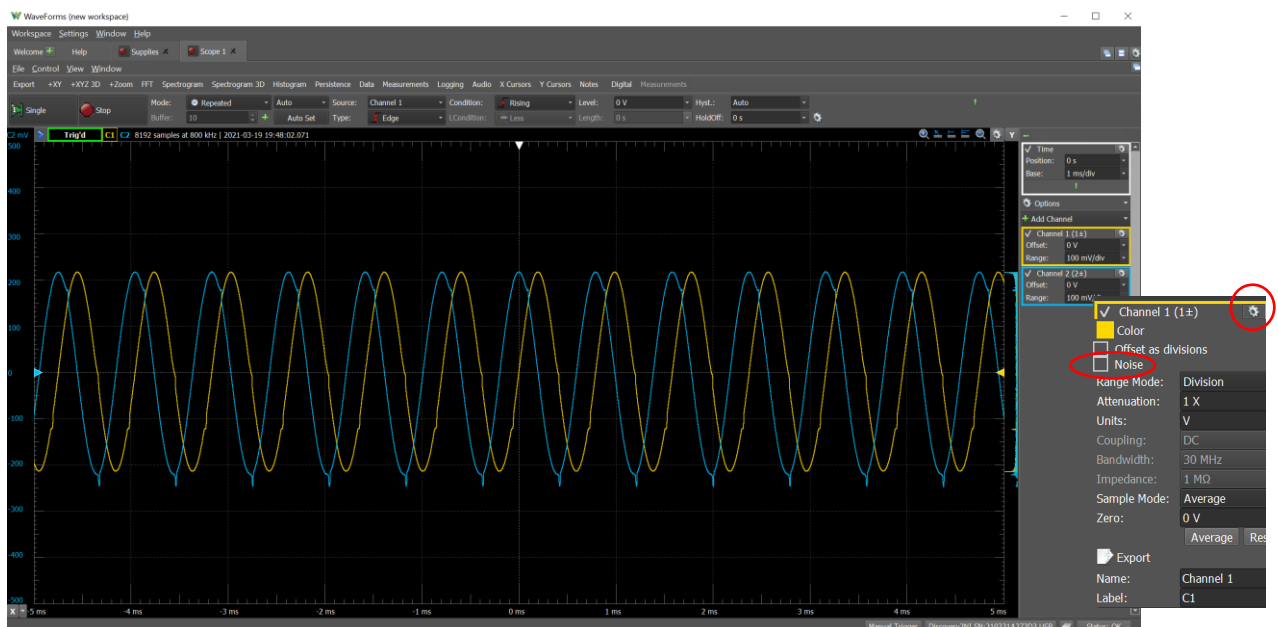
- **Programación del módulo AD2.**

Para esta práctica usaremos una fuente de alimentación simétrica de ± 5 Voltios (Supplies) y el Osciloscopio de dos canales (Scope). En el circuito hemos conectado el canal 1 (C1) del Scope a la salida 'Seno' y el canal 2 (C2) a la salida coseno.

Polaricemos el circuito a ± 5 Voltios. En fuentes simétricas se puede usar la opción Tracking y podremos programar la fuente simétrica programando una sola fuente. La otra fuente adaptará en mismo valor y de signo contrario:

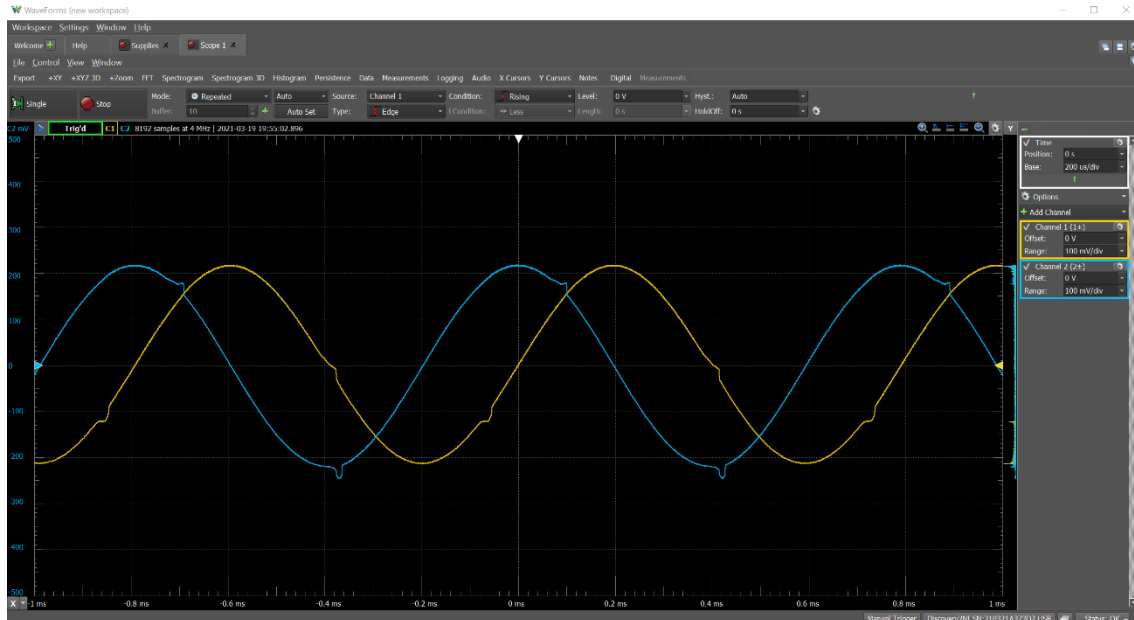


Activemos el Osciloscopio (Scope) con una base de tiempos de 1ms/div y amplitud de 100mV/div en cada canal. Quitando la opción Noise, veremos las dos señales senoidales desplazadas con una amplitud indeterminada entre 200mV y 4 Voltios aproximadamente. Como hemos dicho, en estos osciladores la amplitud teórica es unitaria, pero en la práctica, la amplitud de salida depende del grado de igualdad entre las resistencias R1, R2 y R3 y los condensadores C1, C2 y C3 cuyos valores están dispersos en función de sus márgenes de tolerancia. Con estas dispersiones el oscilador debe oscilar de forma espontánea. Si todo el circuito está bien montado y el oscilador no oscila debemos provocar una perturbación para que lo haga; por ejemplo, apagar y encender la fuente Supplies pulsando en su icono.



- **Análisis en el dominio del tiempo.**

Antes de realizar medidas, observemos la morfología de la señal con más detenimiento disminuyendo la base de tiempos a 200us/div:

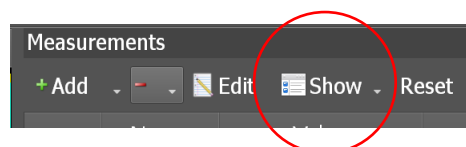


Se ve a simple vista que en las dos señales generadas aparecen pequeñas perturbaciones que no forman parte de la propia señal seno o coseno. Estas perturbaciones son ajenas al montaje y tienen que ver con el circuito interno integrado en los amplificadores operacionales del LM358 que presentan un problema de distorsión de cruce. Esta distorsión afecta a la morfología de las señales de salida y vamos a estudiarla posteriormente. [Hacer volcado de las señales seno y coseno en la Hoja de Resultados.](#)

Vamos a caracterizar a las señales en el dominio del tiempo midiendo sus amplitudes, frecuencias y diferencia de fase: Con la opción **View>Measurements** y para cada una de las señales, midamos los siguientes *parámetros de amplitud* de interés:

1. **Valor Pico a Pico:** Definida como la diferencia entre los valores máximo y mínimo.
2. **Overshoot:** Definido como un porcentaje de la variabilidad del valor pico a pico (véase Help)

En la pestaña Show marcaremos las opciones Acq (número de datos) y Average (Valor medio) para hacer un análisis estadístico de estas dos medidas:



Tras un número suficiente de medidas (Acq) obtendremos el valor de la tensión pico a pico y su variabilidad para cada uno de los canales:

Measurements				
+ Add - Edit Show Reset				
	Name	Value	Acq	Average
C1	Peak2Peak	429.18 mV	290	436.02 mV
C1	Overshoot	0.54348 %	290	0.47218 %
C2	Peak2Peak	461.92 mV	290	469.11 mV
C2	Overshoot	6.1457 %	290	6.1494 %

Para el canal C1 (seno): obtenemos un valor medio de la tensión pico a pico de 436.02 mV con una variabilidad del 0.47% y para el canal C2 (coseno) obtenemos una medida de 469mV con una variabilidad del 6.1%. Observemos las diferencias entre un canal y otro. [Hacer volcado de las medidas de Amplitud para la Hoja de Resultados.](#)

Igualmente, midamos los siguientes *parámetros temporales*:

1. Frecuencia.
2. Periodo.
3. Diferencia de Fase.

La medida de la diferencia de fases la programaremos con la Opción +Add>Custom Global.

Obtenemos los siguientes resultados:

Measurements				
+ Add - Edit Show Reset				
	Name	Value	Acq	Average
C1	Frequency	1.2606 kHz	177	1.2606 kHz
C1	Period	0.79328 ms	177	0.79328 ms
C2	Frequency	1.2606 kHz	177	1.2606 kHz
C2	Period	0.79328 ms	177	0.79327 ms
	Phase	89.859 °	177	89.839 °

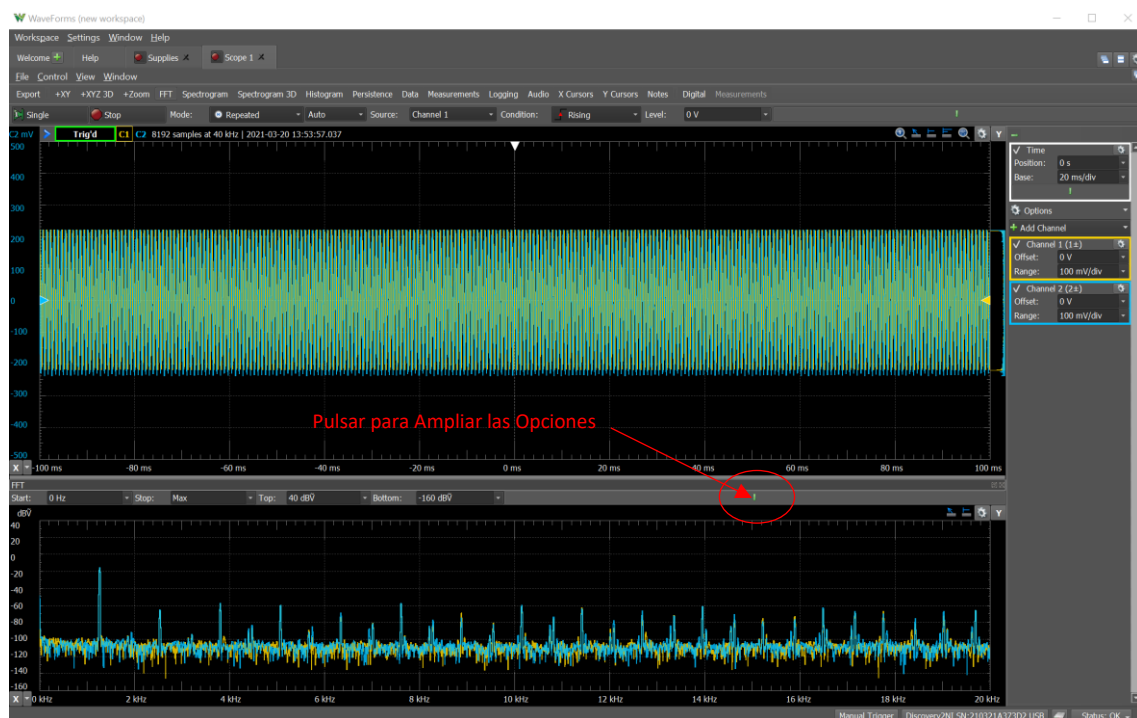
Observamos que, en efecto y como era de esperar, la frecuencia de las dos señales es idéntica e igual a 1260 Hz ([Comparar con el cálculo teórico](#)) y la diferencia de fases es de 89.83°. En efecto, las señales están en cuadratura de fase salvo un pequeño error. [Hacer un volcado con la tabla de valores temporales a la Hoja de Resultados.](#)

- **Análisis del Fenómeno Pushing:** No se observan diferencias significativas al cambiar la alimentación de $\pm 5V$ a $\pm 3V$. No estudiarlo si hay problemas de tiempo.

- **Análisis en el dominio de la Frecuencia.**

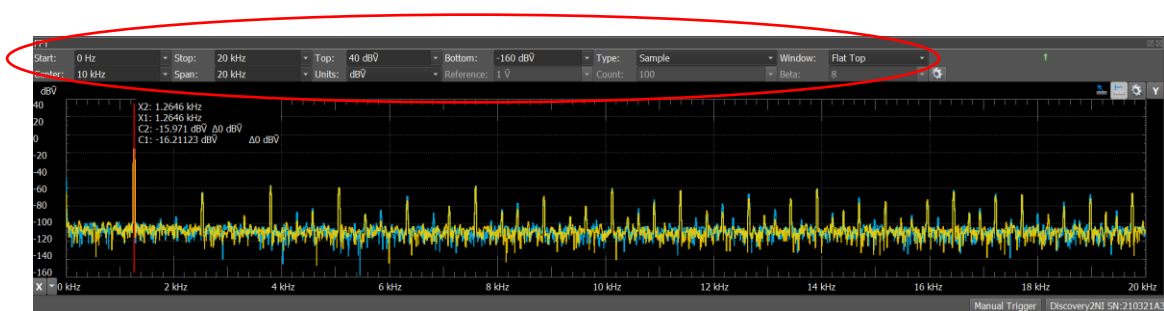
El módulo Analog Discovery 2 tiene la posibilidad de realizar análisis espectral con la opción **View> FFT (Fast Fourier Transform)**. El análisis de Fourier, como sabemos, permite descomponer una señal periódica arbitraria en una suma de senos y cosenos ponderada. Así, tal como hemos visto en el estudio teórico, una señal senoidal pura tendrá un solo armónico en su frecuencia fundamental. Las señales 'senoidales' producidas por el oscilador tienen distorsión armónica y, por tanto, tendrán el armónico fundamental propio de una señal seno, más un conjunto de armónicos de menor peso correspondientes a contribuciones relativas a la distorsión que presenta.

Programemos una base de tiempos de 20ms/div con el objeto de que exista una ventana temporal amplia para ver el espectro en un ancho de banda máximo de 20Khz. Si ejecutamos la opción View>FFT o pulsamos la opción **FFT** podemos ver lo siguiente:

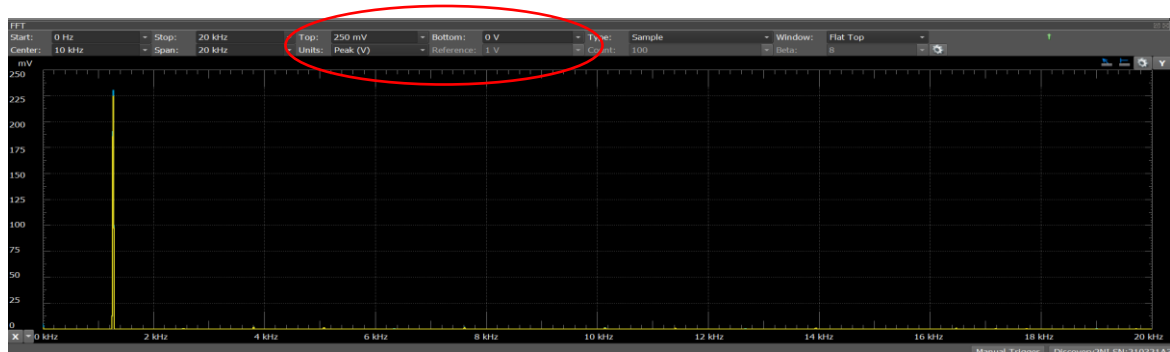


De partida, el programa FFT presenta los datos de frecuencia en una escala lineal y los datos de amplitud en una escala logarítmica expresada en decibelios (20·log()), conteniendo por defecto el valor cuadrático medio de las señales senoidales (\tilde{V}). Podemos seleccionar C1, C2 para ver la señal de interés en primer plano. Igualmente podemos programar el rango de frecuencias a visualizar y la escala de amplitudes en decibelios.

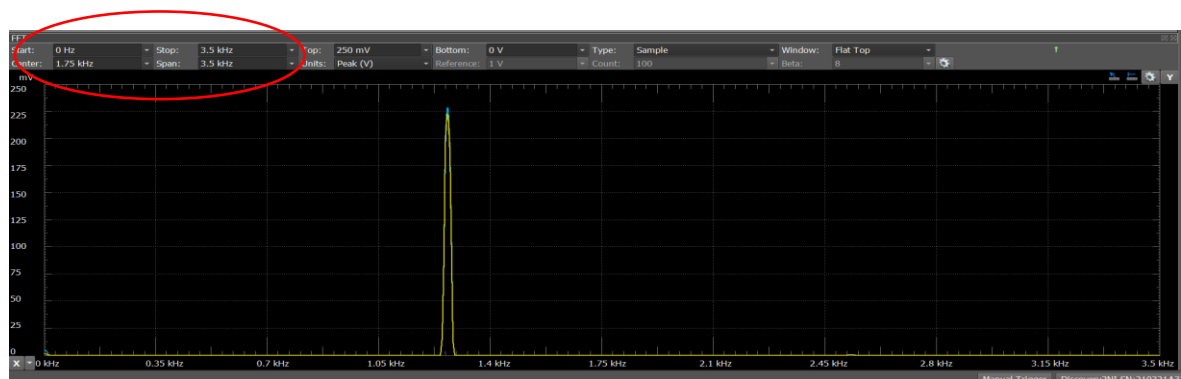
Las opciones por defecto se pueden ampliar pulsando la flechita verde (se indica en la gráfica), apareciéndonos una segunda línea de opciones que permiten hacer muy versátil el uso del analizador de armónicos.



Con las opciones por defecto podemos observar el espectro de las dos señales donde se ve un armónico principal para ambas (pico donde hemos situado el cursor), con una frecuencia de 1264Hz. También observamos una serie de armónicos de frecuencia superior situados en múltiplos enteros de la frecuencia fundamental indicando, tal como se especifica en el análisis de Fourier, los términos de la serie de Fourier. Al encontrarse el espectro representado en una escala logarítmica, el armónico fundamental y los armónicos superiores parecen tener una amplitud parecida, pero en realidad no es así. Para ver que no es así, podemos cambiar la escala logarítmica de amplitudes a una escala lineal en la que, en lugar de ver el valor cuadrático medio, veamos, por ejemplo, la amplitud de la señal Peak(V) en la que puede programarse la escala entre 0V y 250mV:



Observemos que cuando la escala es lineal sólo nos aparece un pico situado en el armónico fundamental. También podemos jugar con la escala de frecuencias para apreciar mejor el armónico. Cambiando la escala entre 0Hz y 3.5Khz podemos ampliar la visión del armónico:

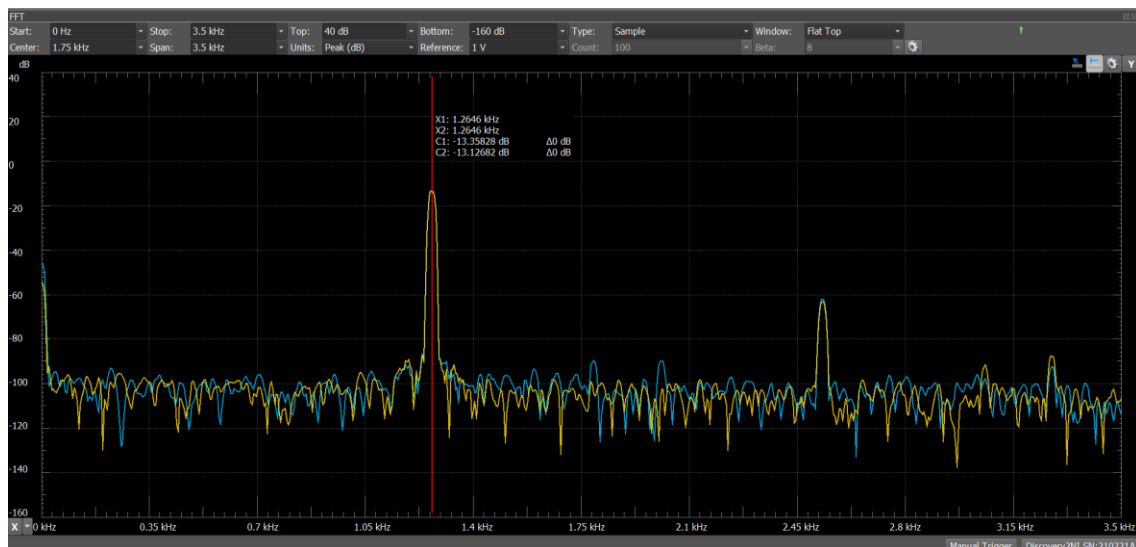


- **Estudio de la Distorsión armónica.**

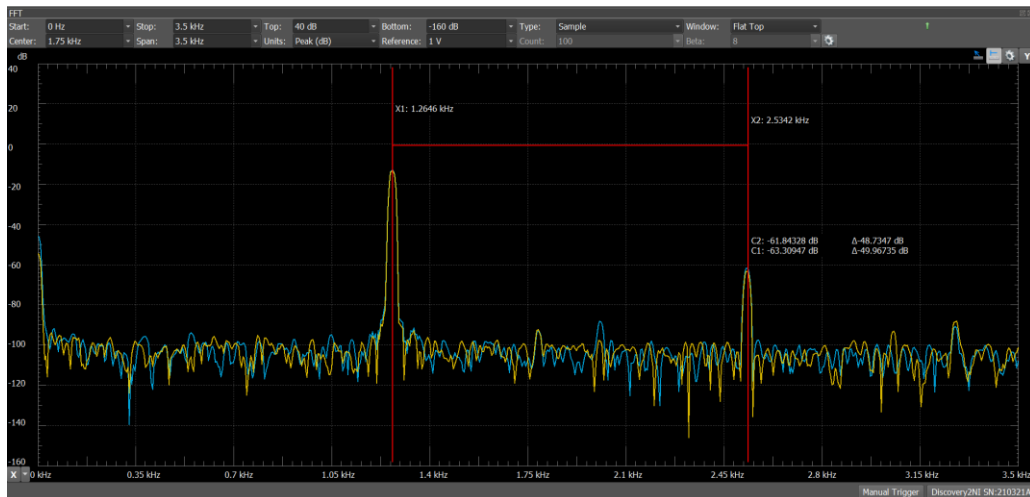
Calculemos la distorsión armónica provocada por el segundo armónico en las señales seno y coseno. Para ver los demás armónicos (que son muy pequeños), cambiemos la escala de nuevo a una escala logarítmica. En este caso midamos la amplitud en decibelios con la opción Peak (dB):



Situando el cursor en el armónico principal y en el segundo armónico podremos medir sus amplitudes y la correspondiente distorsión armónica:



Los dos armónicos fundamentales (seno y coseno), se sitúan a la misma frecuencia de 1264Hz y con alturas en dB de -13.35dB y -13.12dB. Utilizando del cursor para medir diferencias (doble clic), situaremos el segundo cursor en el segundo armónico: [\(Poner volcado del espectro con las medidas del primer armónico en la Hoja de Resultados\)](#)



Vemos que el segundo armónico se sitúa a una frecuencia de $2534\text{Hz} \cong 2 \cdot 1264\text{Hz}$ (segundo armónico), con amplitudes de -61.84dB y -63.30dB . El propio programa nos proporciona las diferencias de amplitudes en dB entre los dos armónicos: -48.73dB para la señal seno y -49.96 para la señal coseno. [Poner volcado del espectro con las medidas de amplitud del segundo armónico.](#)

Para calcular la distorsión provocada por el segundo armónico al armónico fundamental, apliquemos la definición:

$$D_{2_sen} = \frac{A_{2_sen}}{A_{1_sen}} \cdot 100\% = \frac{10^{-\frac{63.30}{20}} \text{Volts}}{10^{-\frac{13.35}{20}} \text{Volts}} \cdot 100\% = \frac{6.839 \cdot 10^{-4} \text{Volts}}{0.215 \text{Volts}} \cdot 100 = 0.31\% \quad (1)$$

$$D_{2_cos} = \frac{A_{2_cos}}{A_{1_cos}} \cdot 100\% = \frac{10^{-\frac{61.84}{20}} \text{Volts}}{10^{-\frac{13.12}{20}} \text{Volts}} \cdot 100\% = \frac{8.09 \cdot 10^{-4} \text{Volts}}{0.220 \text{Volts}} \cdot 100 = 0.36\% \quad (2)$$

Donde hemos calculado la tensión en voltios asociada al valor de dB.

Si ampliamos la escala de frecuencias a 5KHz veremos el tercer armónico a una frecuencia de $3803\text{Hz} \cong 3 \cdot 1264\text{Hz}$ con el podemos repetir la operación (observemos que tiene mayor influencia que el segundo):



[Poner volcado de osciloscopio con las medidas de amplitudes del tercer armónico.](#)

Las distorsiones armónicas del tercer armónico serán:

$$D_{3_sen} = \frac{A_{3_sen}}{A_{1_sen}} \cdot 100\% = \frac{10^{-\frac{54.84}{20}} Volts}{10^{-\frac{13.35}{20}} Volts} \cdot 100\% = \frac{1.811 \cdot 10^{-3} Volts}{0.215 Volts} \cdot 100 = 0.84\% \quad (3)$$

$$D_{3_cos} = \frac{A_{3_cos}}{A_{1_cos}} \cdot 100\% = \frac{10^{-\frac{54.11}{20}} Volts}{10^{-\frac{13.12}{20}} Volts} \cdot 100\% = \frac{1.97 \cdot 10^{-3} Volts}{0.220 Volts} \cdot 100 = 0.89\% \quad (4)$$

Estas distorsiones armónicas son muy altas si tenemos en cuenta que en amplificadores de alta fidelidad (HI-FI), no se permiten distorsiones armónicas totales superiores al 0.1%.

[Medir la distorsión armónica del segundo y tercer armónico y llevarlas a la hoja de Resultados.](#)

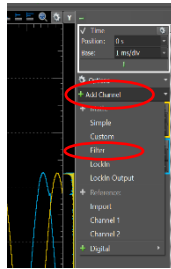
Colorario: Reconstrucción de las señales seno y coseno. Introducción al concepto de Filtro.

Las señales que produce el oscilador en cuadratura tienen distorsión de amplitud provocada por las no linealidades de los amplificadores operacionales y por un efecto añadido de distorsión de cruce. Veamos aquí que la operación de filtrado nos permite eliminar hasta un cierto grado controlado las componentes armónicas que perturban la morfología de las señales senoidales. Esto es posible porque dichas perturbaciones son de una frecuencia superior a la frecuencia de la oscilación senoidal fundamental y se encuentran separadas en el dominio de la frecuencia.

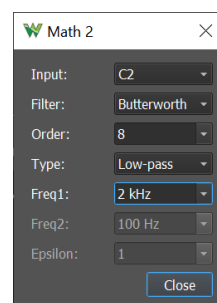
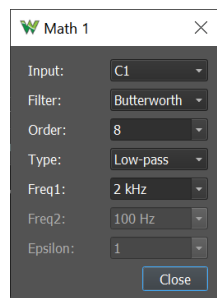
Como veremos en el tema 7, el Filtro Activo, considerado como un amplificador selectivo en frecuencia, nos permite amplificar unas componentes armónicas y atenuar otras a nuestro antojo.

Dado que la frecuencia fundamental de las señales seno y coseno generadas por el oscilador tienen una frecuencia inferior a 2000Hz, definamos un filtro pasa baja; es decir, un filtro que sólo deja pasar las componentes armónicas de baja frecuencia, un filtro sólo deje pasar componentes armónicas inferiores a 2000Hz donde las componentes armónicas superiores o de mayor frecuencia sean atenuadas una determinada cantidad. Si podemos hacer esto, todos los armónicos que producen distorsión serán atenuados y sólo amplificaremos el primer armónico que es el armónico que nos interesa.

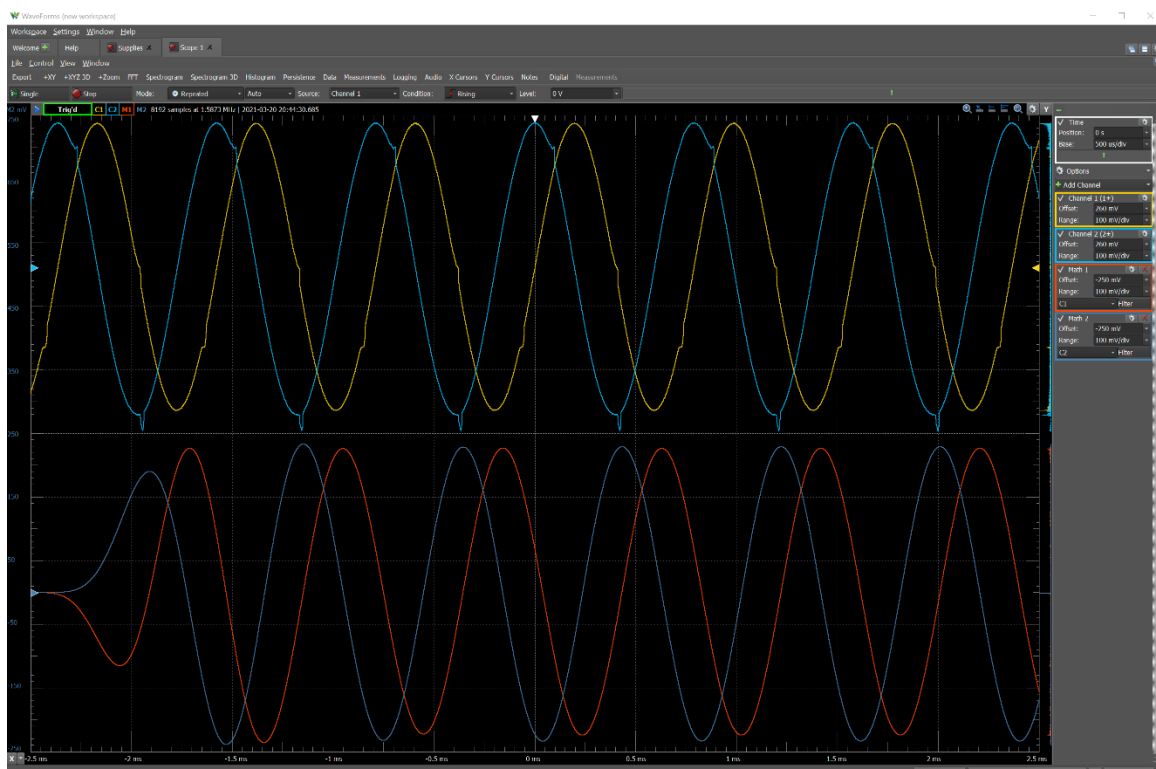
El módulo AD2 tiene la posibilidad de filtrar señales a través de la opción Add Channel > Filter. Se abrirá un canal Math que podremos observar en el display del Osciloscopio:



Programemos un Filtro pasa baja de tipo Butterworth de orden 8 para cada una de las señales seno y coseno:

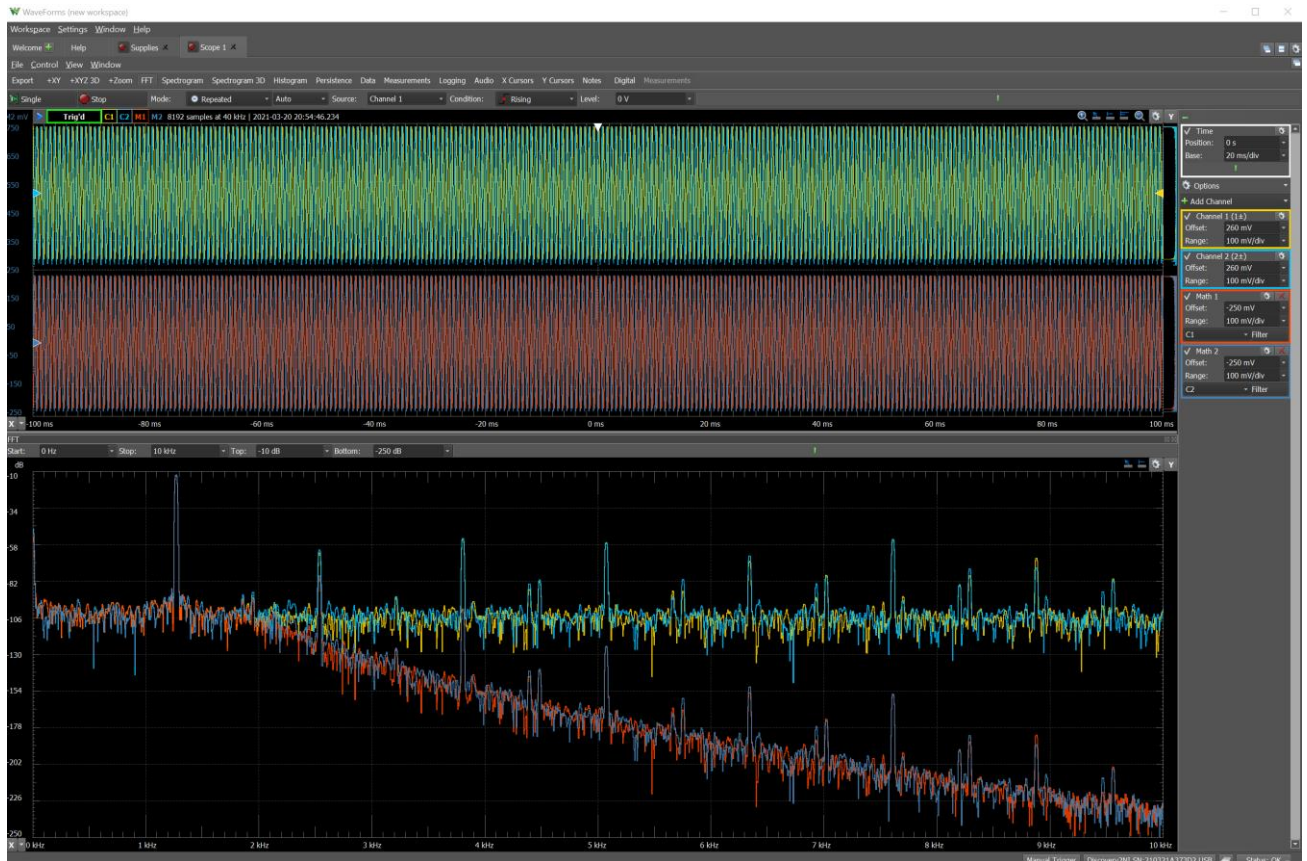


En el Osciloscopio podemos visualizar ahora 4 señales, las originales seno (C1) y coseno (C2) y sus versiones filtradas M1 y M2:



Salvo el transitorio inicial de cálculo, las versiones filtradas nos aparecen limpias de perturbaciones porque el filtro pasa baja, ha atenuado las componentes armónicas de una frecuencia mayor de 2000Hz que son las que están perturbando su morfología.

En el dominio de la frecuencia, podemos ver mejor la acción del filtro, porque en las componentes filtradas sus componentes armónicas se encuentran mucho mas atenuadas que las componentes armónicas de las señales originales y por ello, su influencia en la morfología de las señales seno es mucho menor:



Observemos que, a partir del segundo armónico, las componentes espectrales de las señales filtradas son mucho menores (escala logarítmica en dB), que las componentes de las señales sin filtrar. El resultado es que tras la operación de filtrado, sólo se ven las componentes frecuenciales que pasan a través de la banda pasante del filtro. En nuestro caso, el primer y único armónico de una señal senoidal.

Filtrar las señales senoidales a la frecuencia indicada y poner los volcados gráficos en la Hoja de Resultados.