



# Manual de Usuario

versión Arduino

Software SDK v1.1



# Contenidos

- 4 Capítulo 1: Sobre uRAD**
  - 4 Información de Lanzamiento
  - 5 Información Adicional
  
- 6 Capítulo 2: uRAD Lo Esencial**
  - 6 Descripción del Hardware
  - 7 Conexión con Arduino
  - 8 Características Principales
  - 9 Parámetros de Configuración
  - 14 Información Detectada
  
- 15 Capítulo 3: Programación**
  - 15 Empezando con Arduino
  - 16 Instalación de la Librería
  - 17 Cargar la Configuración
  - 18 Encender/Apagar
  - 18 Detección de Objetivos
  - 20 Ejemplo. Detector de Distancia
  
- 22 Capítulo 4: Interfaz Gráfica de Usuario**
  - 22 Instalación de la GUI
  - 24 Seleccionar los Parámetros de Configuración
  - 28 Visualizar Resultados – Modo 1
  - 32 Visualizar Resultados – Modo 2
  - 33 Visualizar Resultados – Modo 3
  - 35 Visualizar Resultados – Modo 4
  - 37 Modo MTI

## 39 Capítulo 5: Seguridad y Manejo

39 Información Importante de Seguridad

40 Información Importante de Manejo

## 41 Capítulo 6: Garantía del Producto

41 Fabricación y Testeo

41 Declaración de Garantía Limitada

## Enhorabuena por adquirir uRAD



**ATENCIÓN:** Para evitar lesiones o daños, lea todas las instrucciones de funcionamiento de esta guía y, especialmente, la información de seguridad y garantía en "Capítulo 5: Seguridad y manejo" y "Capítulo 6: Garantía del producto", antes de usar uRAD.

Está cerca de transformar su tarjeta Arduino en un radar de microondas totalmente funcional. A través de este manual, aprenderá a usar uRAD para un número ilimitado de aplicaciones relacionadas con la medida de distancia y velocidad de cualquier elemento del mundo que le rodea. uRAD se concibe como una plataforma de evaluación que le brinda tecnología de detección radar en un dispositivo simple, pero de altas prestaciones, cuyas especificaciones se encuentran al mismo nivel de los radares profesionales.

uRAD es un *shield* para Arduino. Por lo tanto, solo funciona junto a una tarjeta Arduino compatible. Las tarjetas que pueden ser usadas son todas aquellas que poseen la disposición de pines habitual: Arduino Uno, Zero, Leonardo, 101, Mega, Due, M0, Yun y Ethernet, entre otras. Además, tenemos interfaces PCB para conectar uRAD con tarjetas Arduino MKR. Contáctanos para más información.

## Información de Lanzamiento

El software de desarrollo SDK v1.1 solo está disponible para los modelos uRAD de Arduino con números de serie superiores a SN1942.

## Información Adicional

Versiones hardware:      uRAD v1.0      15/07/2018  
   uRAD v1.1      15/05/2020

Versiones software:      SDK v1.0      15/07/2018  
   SDK v1.1      15/02/2021

Compra:                      [www.uRAD.es/arduino](http://www.uRAD.es/arduino)

Descargas software:      [www.uRAD.es/mi-cuenta/downloads](http://www.uRAD.es/mi-cuenta/downloads) (solo disponible con la compra)

Contacto:                    [contact@uRAD.es](mailto:contact@uRAD.es)

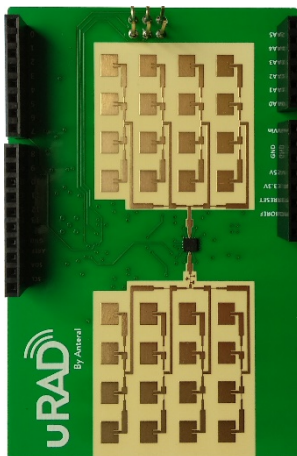
Lea este capítulo para aprender acerca de las características de uRAD, cómo usarlo, y mucho más.

uRAD es un pequeño dispositivo que incluye tecnología radar de altas prestaciones. Sin embargo, su funcionamiento es simple de entender y fácil de controlar.

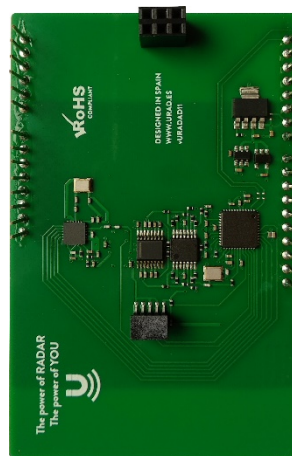
## Descripción del Hardware

uRAD está fabricado en tecnología plana sobre un sustrato de alta frecuencia. Es una tarjeta de circuito impreso multicapa que cuenta con varios chips integrados.

- La capa superior incluye el núcleo de uRAD, un transceptor de 24 GHz y las antenas transmisora y receptora. La señal radar se emite perpendicular a esta capa, por lo que debe apuntar esta cara en la dirección de interés. Tenga cuidado porque no emite hacia atrás.
- La capa inferior consiste en elementos de suministro de energía y procesamiento de señal, que son administrados por un poderoso microcontrolador.
- Cuatro conectores diferentes se colocan en los dos lados más largos, que son la interfaz con las tarjetas Arduino.



Vista superior



Vista inferior



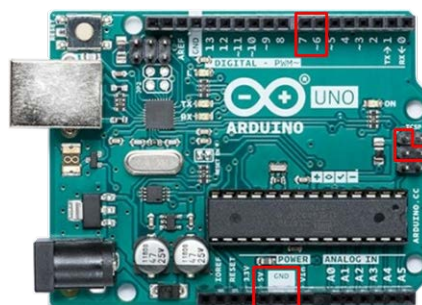
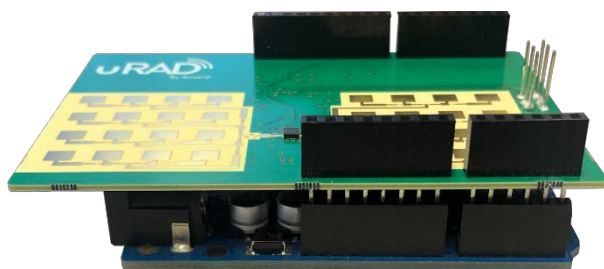
Vista lateral

## Conexión con Arduino

Conectar uRAD a su tarjeta Arduino compatible es tan simple como insertar los pines macho de los conectores laterales de uRAD en los conectores hembra de Arduino. Una vez conectado, la parte visible de uRAD será la correspondiente a la capa superior o lado de las antenas.



**ATENCIÓN:** Los pines macho no deben ser insertados completamente. Empuje uRAD hasta que exista suficiente contacto entre los conectores, evitando cualquier doblez en la tarjeta.



uRAD se alimenta con el pin de alimentación de 5V de Arduino y ambos también comparten los pines de GND. Por lo tanto, para alimentar uRAD solo necesita alimentar su Arduino como de costumbre. Su consumo de energía es de 0.85 W (corriente = 170 mA). Además, uRAD comparte 2 pines digitales con Arduino para la comunicación y control de encendido/apagado (ON/OFF) además del conector ICSP.

- Pin digital 6: un valor ALTO/BAJO, gestiona ON/OFF en uRAD, respectivamente.
- Pin digital 7: pin *Slave Select* del protocolo de comunicación SPI.
- Conector ICSP: transmisión y recepción de datos entre uRAD y Arduino via SPI.



**ATENCIÓN:** Dependiendo del modelo de Arduino, las líneas SPI también se conectan a algunos pines digitales además del conector ICSP. En Arduino UNO a 10, 11, 12 y 13. Recomendamos no usar esos pines porque durante la transmisión de datos se utilizan para la comunicación SPI.



**ATENCIÓN:** Los pines digitales 6 y 7 están reservados para la interacción uRAD-Arduino y por lo tanto no están disponibles para otro propósito. **NO LOS USE.** Los pines restantes, incluyendo 5V, GND e ICSP, pueden ser usados al integrar con proyectos adicionales.



**ATENCIÓN:** NO tape las antenas con ningún elemento metálico o electrónico, ni absorbente electromagnético ya que la señal radar no será capaz de atravesarla. La mayoría de plásticos finos son prácticamente invisibles a la emisión.

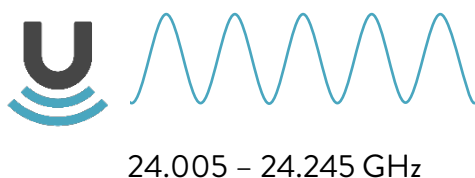
## Características Principales

Básicamente, un radar es un dispositivo que detecta elementos que están en su radio de acción. Funciona emitiendo una onda electromagnética al aire. Dicha onda se refleja en el objetivo y regresa al radar. La forma de la onda que va y viene, así como la arquitectura del radar, determina el tipo de radar.

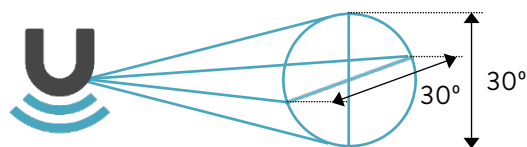
uRAD puede detectar hasta 5 elementos diferentes que se encuentran en su campo de visión. Se proporciona información sobre la distancia al objetivo y su velocidad radial relativa. Además, también se proporciona la cantidad de potencia reflejada, que sirve como una estimación del tamaño del objeto o del nivel de detección. Si no se refleja suficiente potencia, el elemento no se detecta. Por lo tanto, los objetivos muy pequeños o lejanos no se verán.

Las principales características de uRAD son:

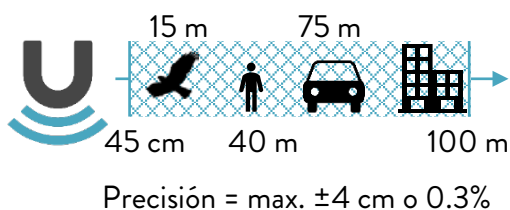
### Ancho de Banda Frecuencial



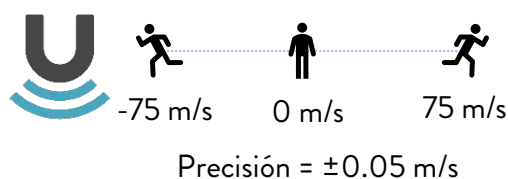
### Campo de Visión



### Rango de Distancia



### Rango de Velocidad



El rango de distancia/velocidad y la precisión dependen de la configuración.



**ATENCIÓN:** La velocidad detectada es solo la velocidad radial, es decir, la componente de la velocidad del objetivo que apunta en la dirección de la línea que conecta el objetivo y el radar.

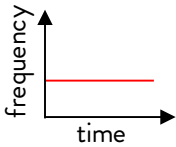
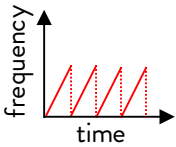
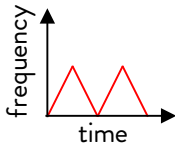

Se puede encontrar información adicional sobre las características técnicas en [www.urad.es](http://www.urad.es).

## Parámetros de Configuración

Se deben introducir 9 parámetros para configurar uRAD. En el [Capítulo 3](#), le mostraremos cómo enviar la configuración desde Arduino a uRAD. Aquí, aprenderá qué configuración es más conveniente para su aplicación.

### 1. Modo

Hay cuatro modos de operación que se corresponden con 4 formas de onda transmitidas diferentes: onda continua (CW), diente de sierra, triangular y doble tasa. En el modo CW, se transmite una sola frecuencia. Este es el modo utilizado comúnmente por los radares Doppler. En el resto de los modos, se transmite una rampa de frecuencia, también llamada onda continua modulada en frecuencia (FMCW). Como veremos, cada modo tiene sus ventajas y desventajas y dependiendo de la aplicación, seleccionará una u otra. La siguiente tabla resume las principales características de cada modo.

Modo	1	2	3	4
Nombre	CW	Diente de sierra	Triangular	Doble Tasa
Forma de onda				
Parámetros medidos	Velocidad	Distancia	Distancia Velocidad	Distancia <sup>1</sup> Velocidad <sup>1</sup>
Detector de movimiento	SI	SI	SI	SI
Rango de distancia (m)	0.45 a 60	0.45 a 100	0.45 a 100	0.45 a 75
Precisión en distancia (m)	-	Max: $\pm 0.3\%$ $\pm 0.04$	Max: $\pm 0.3\%$ $\pm 0.04$	Max: $\pm 0.3\%$ $\pm 0.04$
Resolución en distancia <sup>2</sup> (m)	-	1.5	Velocidad <sup>3</sup> diferente o 1.5	Velocidad <sup>3</sup> diferente o 1.5
Rango de velocidad (m/s)	$\pm 0.7$ to $\pm 75$	-	$\pm 0.2$ to $\pm 75$	$\pm 0.2$ to $\pm 75$
Precisión en velocidad (m/s)	$\pm 0.05$	-	$\pm 0.25$	$\pm 0.25$

Resolución en velocidad <sup>2</sup> (m/s)	3	-	Distancia <sup>3</sup> diferente o 3	Distancia <sup>3</sup> diferente o 3
Refresco max. <sup>4</sup> (muestras/segundo)	68	45	28	16

- <sup>1</sup> El hecho de que el modo de doble tasa utilice dos rampas triangulares diferentes de forma consecutiva, proporciona mejores resultados en cuanto a la reducción de objetivos fantasmas. **Este modo es especialmente útil en escenarios con múltiples objetivos.**
- <sup>2</sup> La resolución de distancia o de velocidad indica la distancia o velocidad mínima en que dos objetivos deben separarse para ser discernidos independientemente.
- <sup>3</sup> En el modo 3 y 4, uRAD puede distinguir dos objetivos exactamente a la misma distancia pero a una velocidad diferente, y viceversa, respectivamente.
- <sup>4</sup> El refresco es máximo cuando el número de muestras es mínimo.

## 2. f0

Es la frecuencia de operación en modo CW o la frecuencia de inicio de rampa en los demás modos. Como uRAD está configurado para operar entre 24.005 y 24.245 GHz, puede seleccionar f0 de 5 a 245 en modo CW o de 5 a 195 en los demás (el barrido de frecuencia mínimo permitido en los modos de rampa es de 50 MHz).

f0	Modo 1	Modo 2, 3, 4
Rango de valores	5 a 245	5 a 195

## 3. BW

Es el ancho de banda de operación en los modos de rampa (modos 2, 3, 4). En otras palabras, el barrido de frecuencia que se varía con cada rampa. Según la f0 introducida, habrá más o menos BW disponible para seleccionar. El valor mínimo es 50 y si introduce un valor más alto que el BW disponible, uRAD seleccionará el máximo BW permitido.

$$BW_{max} = 245 - f0$$

BW es un parámetro muy relevante porque define la precisión del sistema. A mayor BW, mejor precisión. Además, la selección de un BW más alto hace que uRAD sea más capaz de discernir entre objetivos que están muy cerca el uno del otro.

BW	Modo 1	Modo 2, 3, 4
Rango de valores	-	50 a (245 - f0)

Como el modo 1 es mono-frecuencia, el BW aquí no tiene sentido y el valor introducido no causa ningún efecto en la configuración.



**CONSEJO:** Aunque el BW mínimo es 50 MHz, recomendamos usar el máximo BW disponible, o al menos 150, a menos que tu aplicación requiera uno menor.



**CONSEJO:** Si tiene más de un módulo uRAD detectando la misma área, seleccione diferentes f0 y BW en cada uno para reducir la interferencia mutua.

#### 4. Ns

Define el número de muestras que toma uRAD de la onda reflejada para calcular la distancia, la velocidad, etc. Este parámetro es aún más importante en los modos 2, 3, 4 porque también define la duración de las rampas y, por lo tanto, el refresco de resultados.

Ns	Modo 1	Modo 2	Modo3	Modo 4
Rango de valores	50 a 200	50 a 200	50 a 200	50 a 200
Refresco [muestras/segundo]	68 a 43	45 a 38	38 a 24	16 a 15



**CONSEJO:** En el modo 1, seleccionar Ns más alto hace que uRAD sea capaz de discernir mejor los objetivos que tienen una velocidad muy similar. También, en los modos 2, 3 y 4, Ns más alto proporciona mejores resultados en general.

Parece que siempre es mejor seleccionar Ns lo más bajo posible para tener el mejor refresco. Sin embargo, la relación entre BW y Ns también determina la distancia teórica máxima que uRAD puede ver.

$$Distancia_{max} = 75 \times \frac{Ns}{BW}$$

Por lo tanto, la distancia máxima inferior (Ns = 50, BW = 240) es de solo 15.625 metros, mientras que la distancia máxima superior (Ns = 200, BW = 50) es de 300 metros.



**ATENCIÓN:** aunque la distancia máxima teórica puede ser de hasta 300 metros, uRAD no emite suficiente potencia para ver objetivos a 300 m. La distancia de detección máxima real es, por tanto, de alrededor de 100 metros.

## 5. Ntar

Es el número máximo de objetivos a detectar. Se puede seleccionar un máximo de 5 objetivos. Si hay más de 5 elementos en el campo de visión, uRAD le brinda la información de los 5 más significativos, es decir, que reflejan más potencia.

Ntar	Modo 1, 2, 3, 4
Rango de valores	1 a 5

## 6. Rmax / Vmax

Rmax es la distancia máxima donde se buscarán los objetivos. Rmax es independiente de la distancia máxima teórica, que define el rango de detección. Con Rmax se define la longitud de la zona que se desea detectar.

Por ejemplo, imagine que define  $BW = N_s = 100$  que le da una distancia teórica máxima igual a 75 m. Si define  $N_{tar} = 3$  y  $R_{max} = 20$ , uRAD le dará información de 3 objetivos que estén ubicados entre 0 y 20 metros, independientemente de que uRAD detecte objetivos más relevantes en el rango de 20 a 75 metros.

Por otro lado, en el modo 1, uRAD no puede obtener distancias. Por lo tanto, Rmax aquí se corresponde con Vmax, el rango de velocidad máxima donde se buscarán los objetivos.

Rmax / Vmax	Modo 1	Modo 2, 3, 4
Rango de valores	0 a 75	1 a 100

Si selecciona  $R_{max} = 100$  en modo 2, 3 o 4, uRAD buscará en todo el rango definido por la fórmula de la distancia máxima, es decir, pueden verse objetivos más allá de 100 metros.

## 7. MTI

Activa o desactiva el modo de funcionamiento MTI, siglas en inglés de Moving Target Indication (indicador de movimiento de objetivo). En este modo de funcionamiento, **se descartan todos los objetivos que están estáticos y solo se proporciona la información de aquellos que están en movimiento respecto a uRAD**. Esta característica solo se encuentra disponible en radares de muy altas prestaciones.

Un valor igual a 0 indica que el modo MTI está desactivado, y por tanto se proporciona información de TODOS los objetivos, se muevan o no. Un valor igual a 1 indica que el modo está activado y por tanto todos aquellos objetos estáticos se descartan y no se proporciona su información.

MTI	Modo 1	Modo 2, 3, 4
Rango de valores	-	0 (desactivado), 1 (activado)

En el modo 1, MTI no tiene relevancia ya que, por defecto, este modo es para objetivos en movimiento.



**CONSEJO:** Este modo puede ser de mucha utilidad en interiores, por ejemplo, donde puede haber muchos objetos estático no relevantes y se desea medir solo aquellos que se mueven.

## 8. Mth

Define la sensibilidad de uRAD cuando está funcionando como detector de movimiento. Como verá en la siguiente sección, uRAD le avisa cuando detecta que algún objetivo se está moviendo en su área de detección, siempre que desee esta alerta.

Con Mth, puede definir hasta 4 umbrales de detección. Este umbral se define en función de la reflectividad del objetivo, que es proporcional al tamaño del objetivo e inversamente proporcional a su distancia (los objetivos más grandes y más cercanos reflejan más).

Mth = 4 hace que uRAD sea extremadamente sensible a cualquier reflectividad, mientras que Mth = 1 significa que solo objetivos muy reflectivos activan la alerta.

Mth	Modo 1, 2, 3, 4
Rango de valores	1 (baja) a 4 (alta) sensibilidad



**CONSEJO:** Pruebe varios valores de Mth para encontrar el valor que mejor se ajuste a su escenario particular. De esta forma, rechazará alarmas no deseadas.



**ATENCIÓN:** MTI y Mth son independientes. Es decir, puede definir MTI = 0 para recibir la información de objetos tanto estáticos como en movimiento, y al mismo tiempo obtener la alerta de detección de movimiento con Mth.

## 9. Alpha

La búsqueda de objetivos consiste en buscar picos en el espectro de la señal recibida total. Esta detección de picos se realiza en el firmware de uRAD mediante un algoritmo CA-CFAR (promedio de celda - tasa constante de falsas alarmas). Alpha es un parámetro de este algoritmo que permite ser más o menos restrictivo en la detección de picos. La amplitud de cada pico tiene que ser "alfa dBs" mayor que su zona circundante del espectro para ser considerado como un pico detectado.

Valores de alfa demasiado altos dan como resultado una baja probabilidad de detección. Por el contrario, valores demasiado bajos dan como resultado una alta probabilidad de detección, pero aumentan las falsas alarmas. Para cada escenario, hay un valor de alfa óptimo. El valor mínimo seleccionable de alfa es 3 y el valor máximo es 25.

alpha	Modo 1, 2, 3, 4
Rango de valores	3 (alta) a 25 (baja) sensibilidad



**CONSEJO:** En el modo 1, recomendamos comenzar con un valor de alfa = 20. En el modo 2, 3, 4 recomendamos un valor de alfa = 10. Pruebe varios valores de alfa para encontrar el valor que mejor se adapte a su escenario particular.

## Información Detectada

uRAD le brinda información completa de su rango de detección:

- **NtarDetectados:** devuelve el número de objetivos detectados siendo el número máximo definido por el parámetro de configuración Ntar.
- **Distancia:** devuelve la distancia desde uRAD a cada uno de los objetivos detectados.
- **Velocidad:** devuelve la velocidad radial relativa entre uRAD y cada uno de los objetivos.
- **SNR:** devuelve la Relación Señal a Ruido (SNR, *Signal to Noise Ratio*) de cada uno de los objetivos detectados. Esto le da una idea de la cantidad de señal reflejada de cada objetivo y, por lo tanto, del tamaño y la reflectividad del objetivo. Técnicamente hablando, es la diferencia en magnitud entre la señal reflejada debido al objetivo y el fondo de ruido debido a todo el sistema. **SNR difícilmente excederá un valor de 40.**
- **Movimiento:** devuelve TRUE (verdadero) o FALSE (falso) si algún movimiento ES o NO ES detectado, de cualquier objetivo.
- **I, Q:** devuelve la señal total reflejada descompuesta en dos vectores (*arrays*) con las componentes en fase y cuadratura, para un procesamiento de señal de datos avanzado.

La información devuelta disponible depende del modo de configuración.

	Modo	Unidad
<b>NtarDetectados</b>	Todos	-
<b>Distancia</b>	2, 3, 4	metros
<b>Velocidad</b>	1, 3, 4	metros/segundo
<b>SNR</b>	Todos	dB
<b>I, Q</b>	Todos	Unidades arbitrarias desde 0 a 4095
<b>Movimiento</b>	Todos	TRUE/FALSE

En este capítulo, aprenderá a programar su Arduino para usar uRAD.

Solo son necesarios conocimientos básicos de programación para controlar uRAD con Arduino. Aquí encontrará los elementos básicos de código para programar la interacción entre uRAD y Arduino, así como ejemplos completos de uso.



**ATENCIÓN:** A lo largo de este capítulo, las palabras reservadas aparecen en color **rojo**, mientras que las palabras en **verde** son nombres genéricos que pueden ser escogidos por el usuario.

## Empezando con Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. El software Arduino (IDE) le permite escribir programas y cargarlos en su tarjeta.

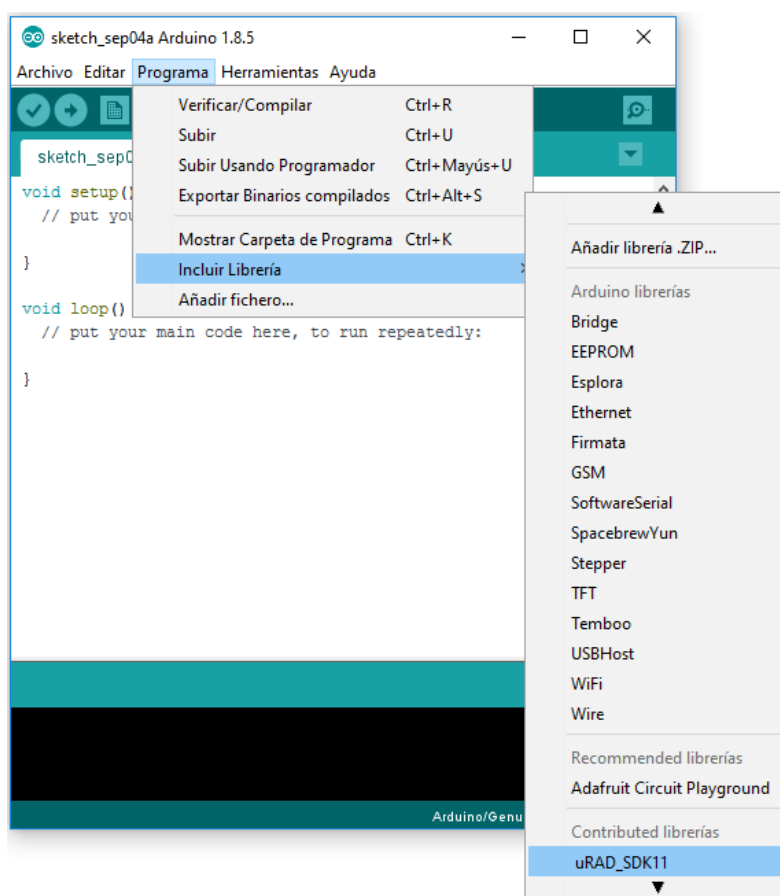
Puede descargar el software de Arduino desde [www.arduino.cc/en/Main/Software](http://www.arduino.cc/en/Main/Software) tanto para Windows, Mac o Linux.

Este manual está destinado a aquellos que ya conocen los conceptos básicos de Arduino. Si es nuevo en Arduino, le recomendamos que visite la página web [www.arduino.cc/en/Guide/HomePage](http://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage) para aprender a usar su tarjeta Arduino e instalar Arduino IDE.

## Instalación de la Librería

Hemos creado para usted varias funciones que le ayudarán a configurar y usar uRAD de la manera más fácil. Para poder usarlas, primero, debe instalar la librería uRAD para Arduino:

1. Descargue de [www.urad.es/mi-cuenta/downloads](http://www.urad.es/mi-cuenta/downloads) la carpeta **uRAD\_Arduino\_SDK11.zip** y guárdela en su disco duro. Descomprímala y dentro de **uRAD\_Arduino\_SDK11/Library**, encontrará la librería **uRAD\_SDK11.zip** (SDK solo disponible con la compra).
2. Abra Arduino IDE y navegue a *Programa > Incluir Librería > Añadir Librería .ZIP*. Navegue hasta la localización de **uRAD\_SDK11.zip** y ábrala.
3. Regrese al menú *Programa > Incluir Librería*. Debería ver ahora la librería al final del menú despegable.



Una vez que la librería está instalada, ya en su programa, debe crear un objeto de clase uRAD. Esto le permite usar con un nombre específico las dos funciones disponibles que controlan su *shield* uRAD. Primero, escriba en su código, antes de la configuración:

```
#include <uRAD_SDK11.h> // incluir la librería instalada
uRAD_SDK11 uRAD;      // crear el objeto con el nombre uRAD
```

Ahora, ya puede usar las funciones **uRAD.turnON(...)**, **uRAD.turnOFF(...)**, **uRAD.loadConfiguration(...)** y **uRAD.detection(...)**.

## Encender/Apagar

Para encender (ON) o apagar (OFF) uRAD, se han programado dos funciones:

- `return_code = uRAD.turnON()`.
- `return_code = uRAD.turnOFF()`.

Estas funciones encienden/apagan correctamente la señal de RF y configuran el nivel de pin digital número 6 Alto o Bajo para habilitar o deshabilitar la alimentación del radar.

Si `return_code = 0`, todo se ha ejecutado correctamente dentro de la función, si `= -1`, se ha producido algún error.

## Cargar la Configuración

Configurar uRAD es muy sencillo. Debe incluir una simple función en su código Arduino para seleccionar su configuración.

```
return_code = uRAD.loadConfiguration(mode, f0, BW, Ns, Ntar, Rmax,
MTI, Mth, alpha, distance_true, velocity_true, SNR_true, I_true,
Q_true, movement_true)
```

Como ya sabe del [Capítulo 2](#), hay 9 parámetros de configuración. Debe introducir todos ellos en esta función para configurar uRAD. Todos estos parámetros son números enteros de tipo “byte” (`uint8_t`). La siguiente tabla resume los valores que pueden ser introducidos.

modo	1	2	3	4
<code>f0</code>	5 a 245	5 a 195	5 a 195	5 a 195
<code>BW</code>	-	50 a (245 – f0)	50 a (245 – f0)	50 a (245 – f0)
<code>Ns</code>	50 a 200	50 a 200	50 a 200	50 a 200
<code>Ntar</code>	1 a 5	1 a 5	1 a 5	1 a 5
<code>Rmax</code>	0 a 75	1 a 100	1 a 100	1 a 100
<code>MTI</code>	-	0 o 1	0 o 1	0 o 1
<code>Mth</code>	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4
<code>alpha</code>	3 a 25	3 a 25	3 a 25	3 a 25



**ATENCIÓN:** Introducir algún valor prohibido dará como resultado su valor predeterminado. Los valores predeterminados son: modo = 3, f0 = 5, BW = máx. disponible, Ns = 200, Ntar = 1, Rmax = 75 o 100, MTI = 0, Mth = 4, alpha = 3 o 25.

Finalmente, debe introducir algunas variables para indicar qué resultados y cuáles no le gustaría obtener: distancia, velocidad, SNR, datos brutos I y/o Q, y movimiento. Estas variables deben declararse de tipo bool. Por ejemplo:

```
distance_true = true
velocity_true = true
SNR_true = true
I_true = false
Q_true = false
movement_true = false
```

Si `return_code = 0`, todo se ha ejecutado correctamente dentro de la función, si = `-1`, se ha producido algún error:

- Incluya esta función al menos una vez, siempre antes de su primera detección de objetivo.
- La configuración no cambia hasta que vuelva a llamar a la función.
- Después de apagar y encender uRAD, no olvide volver a llamar a `loadConfiguration` para cargar nuevamente la configuración deseada.
- Incluya esta función, en cualquier parte de su código, tantas veces como desee para actualizar la configuración para la próxima detección de objetivos.

## Detección de Objetivos

Obtener la información de detección de uRAD es tan simple como llamar a una función. Cada vez que desee obtener la información, incluya en su código:

```
return_code = uRAD.detection(NtarDetected, distance, velocity,
SNR, I, Q, movement)
```

Esta función le devuelve 7 vectores con la información detectada. La información devuelta disponible depende del modo de configuración.

	Modo	Tamaño del vector	Tipo de variable
<code>NtarDetected</code>	Todos	1	Unit8_t
<code>distance</code>	2, 3, 4	Ntar	float
<code>velocity</code>	1, 3, 4	Ntar	float
<code>SNR</code>	Todos	Ntar	float
<code>I, Q</code>	Todos	Ns (modo 1, 2) 2*Ns (modo 3) 2*Ns+2*ceil(0.75*Ns) (modo 4)	uint16_t
<code>movement</code>	Todos	1	boolean

En el modo 3, la rampa triangular tiene  $N_s$  muestras ascendentes y  $N_s$  muestra descendente,  $2*N_s$  en total. En el modo 4, doble tasa, hay dos rampas triangulares con diferente duración. La primera tiene  $N_s$  muestras ascendentes y descendentes, y la segunda  $0.75*N_s$  muestras ascendentes descendentes. “Ceil” significa redondeo del número al entero superior más próximo.



**ATENCIÓN:** Declare siempre primero todos los vectores con sus tamaños y tipos correspondientes, al comienzo de su código. Solo es necesario declarar los vectores que solicitará. Dependiendo de su tipo de Arduino, no podrá configurar  $N_s$  alto y solicitar I, Q en el modo 4 debido a restricciones de memoria RAM.

- uRAD debe estar siempre ENCENDIDO antes de usar `uRAD.detection(...)`.
- Si la información no está disponible debido al modo o porque no hay objetivo detectado, `uRAD.detection(...)` devuelve 0 en el vector correspondiente.
- La información de los objetivos se ordena en el vector de mayor a menor SNR.
- Si no ha declarado alguna variable de entrada porque NO la necesita, escriba 0 en la entrada correspondiente de la función `detection`.



**CONSEJO:** No pida I y Q a menos que vaya a usarlas, ya que implica muchos datos transmitidos de uRAD a Arduino y, por lo tanto, el refresco disminuye, así como la memoria RAM disponible de Arduino.

## Ejemplo. Detector de Distancia

Una de las aplicaciones más simples es usar uRAD como detector de distancia. Para abrir el ejemplo, vaya a *Archivo > Ejemplos > uRAD\_SDK11 > uRAD\_SDK11\_distance\_meter*.

Primer, incluimos la librería de uRAD y definimos el objeto.

```
#include <uRAD_SDK11.h> // include the library
uRAD_SDK11 uRAD;      // create the object uRAD
```

A continuación, definimos las variables de entrada y salida, aquellas que queremos que uRAD mida. En este caso, distancia y SNR.

```
// input parameters
uint8_t mode, f0, BW, Ns, Ntar, Rmax, MTI, Mth, alpha;
bool distance_true, velocity_true, SNR_true, I_true, Q_true, movement_true;
int return_code;

// results output array
uint8_t NtarDetected[1];
float distance[5], SNR[5];
```

Las variables *Distance* y *SNR* se definen como *float*. El tipo flotante puede ser tan alto como 3.4028235 E+38 y tan bajo como -3.4028235 E+38 y es guardado como 32 bits (4 bytes) de información.

Definimos el baud rate del Puerto serie y debajo los valores de cada una de las variables de entrada de la función de configuración de uRAD.

```
void setup() {
  Serial.begin(250000); // serial port baud rate

  mode = 2;      // sawtooth mode
  f0 = 5;       // starting at 24.005 GHz
  BW = 240;     // using all the BW available = 240 MHz
  Ns = 200;    // 200 samples
  Ntar = 3;    // 3 target of interest
  Rmax = 100;  // searching along the full distance range
  MTI = 0;    // MTI mode disable because we want information of static
and moving targets
  Mth = 0;    // parameter not used because "movement" is not requested
  alpha = 10; // signal has to be 10 dB higher than its surrounding
  distance_true = true; // request distance information
  velocity_true = false; // mode 2 does not provide velocity
information
  SNR_true = true; // Signal-to-Noise-Ratio information requested
  I_true = false; // In-Phase Component (RAW data) not requested
  Q_true = false; // Quadrature Component (RAW data) not requested
  movement_true = false; // not interested in boolean movement
detection
```

Ahora, encendemos uRAD y cargamos la configuración deseada.

```
// switch ON uRAD
return_code = uRAD.turnON();
if (return_code != 0) {
    Serial.println("Error turning on uRAD");
}

// load the configuration
return_code = uRAD.loadConfiguration(mode, f0, BW, Ns, Ntar, Rmax, MTI,
Mth, alpha, distance_true, velocity_true, SNR_true, I_true, Q_true,
movement_true);
if (return_code != 0) {
    Serial.println("Error configuring uRAD");
}
```

A continuación, llamamos a la función de detección.

```
void loop() {
    // target detection request
    return_code = uRAD.detection(NtarDetected, distance, 0, SNR, 0, 0, 0);
}
```

Finalmente, imprimimos por pantalla a través del puerto serie la distancia y SNR de los objetivos detectados. Para hacer esto, formulamos la condición de que el SNR de los objetivos sea mayor que 0 dB.

```
// iterate through desired targets
if (return_code == 0) {
    for (uint8_t i = 0; i < NtarDetected[0]; i++) {
        // if target is reflective enough, print its distance
        if (SNR[i] > 0){
            Serial.print("Target: ");
            Serial.print(i+1);
            Serial.print(", Distance: ");
            Serial.print(distance[i]);
            Serial.print(" m, SNR: ");
            Serial.print(SNR[i]);
            Serial.println(" dB");
        }
    }
    // If number of detected targets is greater than 0 prints an empty
    line for a smarter output
    if (NtarDetected[0] > 0) {
        Serial.println(" ");
    }
} else {
    Serial.println("Error in detection");
}
```

Hay más ejemplos disponibles en `uRAD_Arduino_SDK11\Library\uRAD_SDK11\examples`.

# Interfaz Gráfica de Usuario 4

## Aprenda a configurar y usar uRAD de la manera más sencilla.

La Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) es un programa ejecutable que permite configurar y utilizar uRAD, así como visualizar la señal reflejada para entender de dónde vienen los resultados.

### Instalación de la GUI

La GUI es un software completo desarrollado en Python que no necesita ninguna instalación para ejecutarse. Sin embargo, interactúa con la placa Arduino y, por lo tanto, para poder usar la GUI, primero debe instalar una librería adicional para Arduino:

1. Descargue de [www.urad.es/mi-cuenta/downloads](http://www.urad.es/mi-cuenta/downloads) la carpeta *uRAD\_Arduino\_SDK11.zip* y guárdela en su disco duro. Descomprímala y dentro de *uRAD\_Arduino\_SDK11/Library*, encontrará la librería *uRAD\_GUI\_SDK11.zip*.
2. Abra el IDE de Arduino y navegue hasta *Programa > Incluir Librería > Añadir Librería.ZIP*. Navegue hasta la localización *uRAD\_GUI\_SDK11* y ábrala.
3. Regrese al menú *Programa > Incluir Librería*. Debería ver ahora la librería al final del menú despegable.
4. Vaya ahora a *Archivo > Ejemplos > uRAD\_GUI\_SDK11 > uRAD\_load\_GUI\_SDK11*. Esto abrirá el programa *uRAD\_load\_GUI\_SDK11.ino*. Cargue el programa en su tarjeta. Este programa también lo puede encontrar si descomprime *uRAD\_GUI\_SDK11.zip* y accede a *uRAD\_GUI\_SDK11/examples*.

En Windows:

5. Una vez que *uRAD\_load\_GUI\_SDK11.ino* se haya cargado en su tarjeta, solo necesita navegar a *uRAD\_Arduino\_SDK11\GUI\GUI\_windows* y ejecutar el programa *uRAD\_GUI\_SDK11*. Este archivo es como un acceso directo de *uRAD\_GUI\_SDK11.exe* que se encuentra en *uRAD\_Arduino\_SDK11\GUI\GUI\_windows\build\ exe.win32-3.6*.

En Linux:

5. Deberá instalar Python 3 primero para poder ejecutar la GUI, si no lo tiene instalado ya. Para ello, abra un terminal y teclea los siguientes comandos:

```
sudo apt-get install python3
sudo apt-get install python3-pip
```

6. También deberá instalar las librerías de Python necesarias. Teclee en el terminal:

```
sudo pip3 install pyqt5
sudo pip3 install numpy
sudo pip3 install pyqtgraph
sudo pip3 install pyserial
sudo pip3 install datetime
```

7. Para iniciar la GUI, ejecute en Python el programa *uRAD\_GUI\_SDK11.py* localizado en la carpeta *uRAD\_Arduino\_SDK11\GUI\GUI\_linux* o teclee en el terminal:

```
python3 uRAD_GUI_SDK11.py
```

En **Mac**:

5. Deberá instalar Python 3 primero para poder ejecutar la GUI, si no lo tiene instalado ya. Para ello, abra un terminal y teclea los siguientes comandos:

```
brew install python3
```

6. También deberá instalar las librerías de Python necesarias. Teclee en el terminal:

```
pip3 install pyqt5
pip3 install numpy
pip3 install pyqtgraph
pip3 install pyserial
pip3 install datetime
```

7. Para iniciar la GUI, ejecute en Python el programa *uRAD\_GUI\_SDK10.py* localizado en la carpeta *uRAD\_Arduino\_SDK11\GUI\GUI\_mac* o teclee en el terminal:

```
python3 uRAD_GUI_SDK11.py
```

## Seleccionar los Parámetros de Configuración

Para lanzar la GUI, ejecuta el programa *uRAD\_GUI\_SDK11*. Tras unos segundos, se abrirá una ventana como la siguiente.



La GUI, está dividida principalmente en dos partes, la parte de la izquierda sobre fondo azul claro, corresponde con la configuración de parámetros, botones de encendido y guardar los resultados. La parte más grande de la derecha, contiene la visualización de los resultados. Vamos a explicar a continuación las opciones presentes en la parte de configuración de parámetros.

- **Puerto USB:** Debajo del símbolo de uRAD, se encuentra la parte de selección del puerto USB.

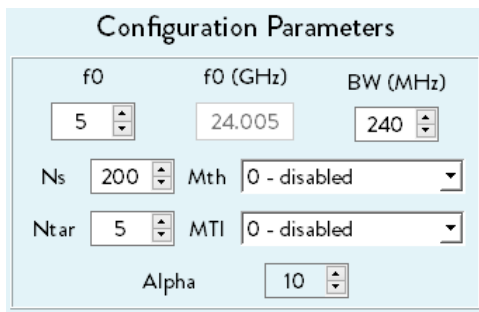


En el menú desplegable debes seleccionar el puerto USB donde está conectada tu tarjeta Arduino. Si has conectado tu tarjeta después de lanzar la GUI, haz click en *Refresh* para refrescar los puertos y que aparezca el puerto USB donde lo tienes conectado.



**CONSEJO:** Puedes saber el puerto USB donde tienes conectado Arduino accediendo al Administrador de dispositivos de Windows.

- **Configuration Parameters:** Debajo de la selección del puerto, se encuentra la parte para introducir los parámetros de configuración.



**Configuration Parameters**

f0	f0 (GHz)	BW (MHz)
5	24.005	240
Ns	Mth	
200	0 - disabled	
Ntar	MTI	
5	0 - disabled	
Alpha		
	10	

Como ya has aprendido del [Capítulo 6](#) o del Manual de Usuario, hay 9 parámetros que configuran uRAD. En este cuadro puedes seleccionar 6 de ellos:

- f0: frecuencia de emisión o de inicio de rampa (a su lado se encuentra el valor real de frecuencia en GHz).
- BW: ancho de banda en MHz (seleccionable en los modos 2, 3 y 4 solamente).
- Ns: número de muestras.
- Ntar: número de objetivos.
- Mth: umbral de detección de movimiento.
- MTI: activar el modo Moving Target Indicator (descartar los objetivos estáticos).
- Alpha: umbral del algoritmo de detección de picos



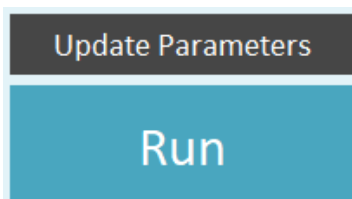
**CONSEJO:** Si colocas el ratón unos segundos sobre el valor de f0, BW, Ns, Ntar o Alpha sin hacer click, aparecerá una pequeña ayuda que muestra el rango de valores que puedes seleccionar.

Para la selección del modo de funcionamiento, debes clicar la pestaña correspondiente en la parte superior de la ventana de resultados.



Por otro lado, el parámetro correspondiente a  $R_{max}/V_{max}$  no está disponible como tal en la GUI. Si se desea visualizar los resultados hasta una cierta distancia o velocidad, se puede hacer ajustando los ejes de las gráficas, como veremos más adelante.

- **Botón Update Parameters y Run/Stop:** Estos dos botones sirven para encender y apagar uRAD así como actualizar la configuración.



Haz click en el botón *Run* para encender uRAD. Una vez en funcionamiento, haz click en *Stop* para para uRAD.

Si cambias algún valor en *Configuration Parameters*, el cambio no se hará efectivo hasta que hagas click en el botón *Update Parameters*.

No es necesario parar uRAD para actualizar la configuración, así como tampoco es necesario pararlo para cambiar el modo.

- **Cuadro de texto de errores:** Debajo del botón *Run*, aparece un pequeño recuadro vacío.



Si ocurre algún error durante la ejecución de la GUI, un mensaje de error aparecerá en este recuadro.

- **Casilla *Save Results*:** En la parte inferior aparece una casilla para salvar los resultados.

Save Results Data

Si activas esta casilla, la GUI empieza a guardar los resultados de distancia, velocidad y SNR de los objetivos detectados automáticamente. Se crea un archivo de texto llamado *results.txt* en la carpeta *uRAD\_Arduino\_SDK11\GUI\...\OutputFiles*. Cuando desactivas la casilla, el programa para de guardar. Este archivo nunca se sobrescribe, el programa guarda los resultados consecutivamente cuando activas y desactivas la casilla.

Cada línea de *results.txt* corresponde con una medida y cada medida guarda la información en hasta 21 columnas (depende del número de objetivos detectados):

- La columna 1 es el modo.
- Cada objetivo detectado crea 3 columnas con su distancia, velocidad y SNR.
- La siguiente columna es el valor de Mth.
- La siguiente columna es igual a 1 si movimiento = true o 0 si movimiento = false.
- La siguiente columna es el valor de MTI: 0 desactivado, 1 activado.
- Las últimas dos columnas son la fecha y la hora.



**RECORDATORIO:** Dependiendo del modo obtendrás resultados solo de velocidad y SNR (modo 1), solo de distancia y SNR (modo 2), o de velocidad, distancia y SNR (modo 3 y 4). Si no hay resultado, la columna tendrá un valor igual a 0.

- **Casilla *Save IQ data*:** En la parte inferior aparece una casilla para salvar los valores de las componentes I y Q.

Save IQ Data

Cuando activas esta casilla, se crean varios archivos .txt con los valores de I y Q. Los archivos que se crean dependen del modo. La siguiente tabla te servirá de guía para saber que archivos se crean en cada modo.

#### Modo 1

I_CW.txt	Valores I de la señal con Ns muestras
Q_CW.txt	Valores Q de la señal con Ns muestras

#### Modo 2

I_FMCW_sawtooth.txt	Valores I de la rampa
Q_FMCW_sawtooth.txt	Valores Q de la rampa

#### Modo 3


I_up_FMCW_triangle.txt	Valores I de la rampa ascendente
Q_up_FMCW_triangle.txt	Valores Q de la rampa ascendente
I_down_FMCW_triangle.txt	Valores I de la rampa descendente
Q_down_FMCW_triangle.txt	Valores Q de la rampa descendente

#### Modo 4

I_up_1_FMCW_triangle.txt	Valores I de la primera rampa ascendente
Q_up_1_FMCW_triangle.txt	Valores Q de la primera rampa ascendente
I_down_1_FMCW_triangle.txt	Valores I de la primera rampa descendente
Q_down_1_FMCW_triangle.txt	Valores Q de la primera rampa descendente
I_up_2_FMCW_triangle.txt	Valores I de la segunda rampa ascendente
Q_up_2_FMCW_triangle.txt	Valores Q de la segunda rampa ascendente
I_down_2_FMCW_triangle.txt	Valores I de la segunda rampa descendente
Q_down_2_FMCW_triangle.txt	Valores Q de la segunda rampa descendente

En estos archivos, cada línea corresponde con una medida. Cada medida tiene tantas columnas como número de muestras (Ns) se han seleccionado, más dos columnas con la fecha y la hora.

La excepción se da en el modo 4 en los archivos de la segunda rampa ascendente y descendente. Cada medida de esos archivos tiene  $0.75 \cdot N_s$  columnas ya que esa segunda rampa es más corta (más dos columnas con la fecha y la hora).



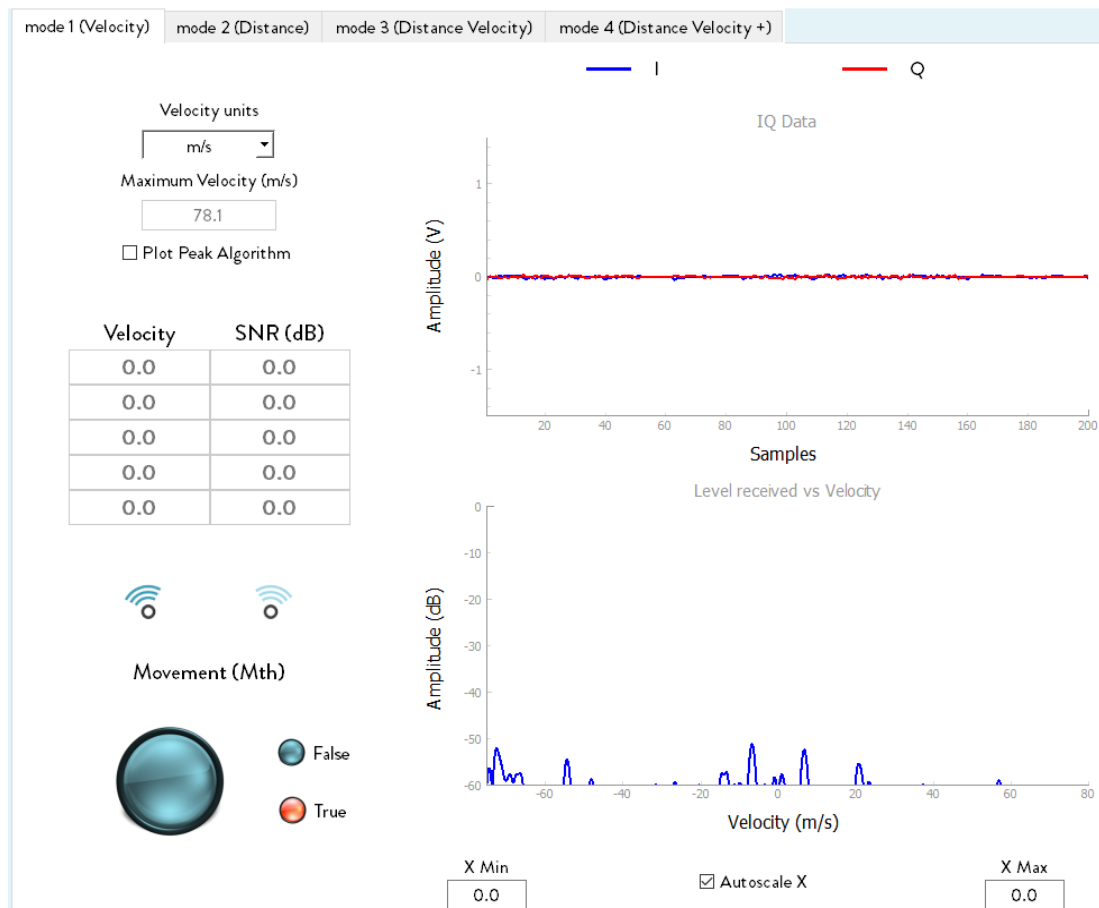
**RECORDATORIO:** Dependiendo del modo uRAD emite diferentes señales con diferentes rampas y por lo tanto la señal recibida total I y Q tiene diferente longitud total. Por ejemplo, con  $N_s = 100$ :

- si modo = 1 = 2 → longitud de I/Q = 100
- si modo = 3 → longitud de I/Q = 200 (100 + 100)
- si modo = 4 → longitud de I/Q = 350 (100 + 100 + 75 + 75)

Cuando desactivas la casilla, el programa para de guardar. Estos archivos nunca se sobrescriben, los resultados se guardan consecutivamente con su fecha y hora correspondiente.

## Visualizar Resultados – Modo 1

Dependiendo del modo, la parte de visualización de los resultados cambia ligeramente. En el modo 1, el modo Doppler de solo velocidad, el aspecto de la pantalla con el radar encendido es el siguiente.

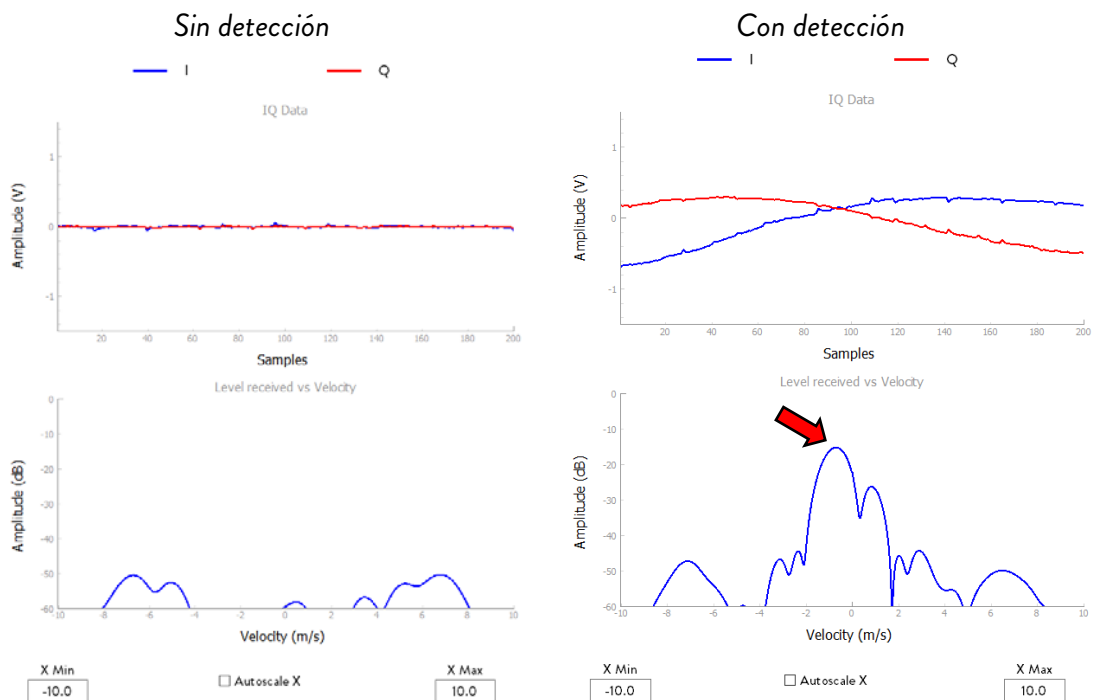


La gráfica superior derecha, titulada *IQ Data*, muestra las señales I (azul) y Q (rojo) recibidas. El eje-x corresponde con el número de muestras, así que, si cambias  $N_s$  y haces click en *Update Parameters*, el eje de la gráfica cambia. La amplitud de las señales I y Q se muestra en voltios, representados en el eje-y.

Las señales I y Q corresponden con la componente en fase y cuadratura de la señal recibida por uRAD. Es decir, construyendo la señal compleja  $I + jQ$  obtendrás la señal total recibida y de ahí puedes extraer la magnitud y la fase de la onda reflejada.

La gráfica inferior derecha, titulada *Level received Vs Velocity*, corresponde con la transformada rápida de Fourier (FFT) de la señal compleja  $I + jQ$ . La FFT es de gran interés porque a partir de ella se puede obtener la información de los objetivos. La FFT, también llamada espectro de la señal, muestra las componentes frecuenciales que componen la señal total. Entonces, cada uno de los picos relevantes que aparecen en el espectro corresponde con una frecuencia, y por tanto con un objetivo detectado por uRAD. Observando la posición de ese pico respecto al eje-x, se puede calcular la velocidad del objetivo. La FFT está representada en dB, por tanto, el eje-y es la amplitud de la señal en dB, que está normalizada a un máximo de 0 dB y un mínimo de -60 dB.

Vemos a continuación dos situaciones donde no se detecta nada y donde se detecta un objetivo a una cierta velocidad, para ver las diferencias en las gráficas.



Se puede ver claramente que cuando no hay objetivo detectado, no aparece señal en *IQ data* ni pico en el espectro. Cuando se detecta un objetivo, se ve la variación de las señales I y Q y aparece un pico en el espectro.



**ATENCIÓN:** En el espectro, en realidad, hay presentes muchos picos. Unos son de los objetivos, otros corresponden a ruido y otros pueden ser consecuencia de interferencias, rebotes, etc. Se ha programado un algoritmo de detección de picos para identificar aquellos que realmente corresponden a objetivos.

A la izquierda de las gráficas, en la parte central, aparece una tabla donde se muestran los resultados. Estos resultados se extraen de las gráficas anteriores.

Velocity	SNR (dB)
-0.7	36.8
0.0	0.0
0.0	0.0

Esta tabla tiene tantas filas como número de objetivos  $N_{tar}$  hayas seleccionado. Muestra la velocidad de los objetivos detectados y su SNR en dB.



**RECORDATORIO:** el SNR es la Relación Señal a Ruido (*Signal to Noise Ratio*). Es la diferencia en magnitud entre la señal reflejada debido al objetivo y el fondo de ruido debido a todo el sistema. Da una idea de la cantidad de señal reflejada de cada objetivo y, por lo tanto, del tamaño y la reflectividad del objetivo

Velocidades negativas significa que el objetivo se acerca a uRAD mientras que velocidades positivas significa que el objetivo se aleja de uRAD.

En la parte izquierda arriba, puedes seleccionar con el desplegable en que unidades se muestran los resultados de velocidad, *Velocity Units*. Puedes seleccionar metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) y millas por hora (mph).

Velocity units

Debajo, hay una casilla de información que permite visualizar la velocidad máxima que se puede medir, *Maximum Velocity*. Esta velocidad máxima depende solo de la  $f_0$  en GHz seleccionada:

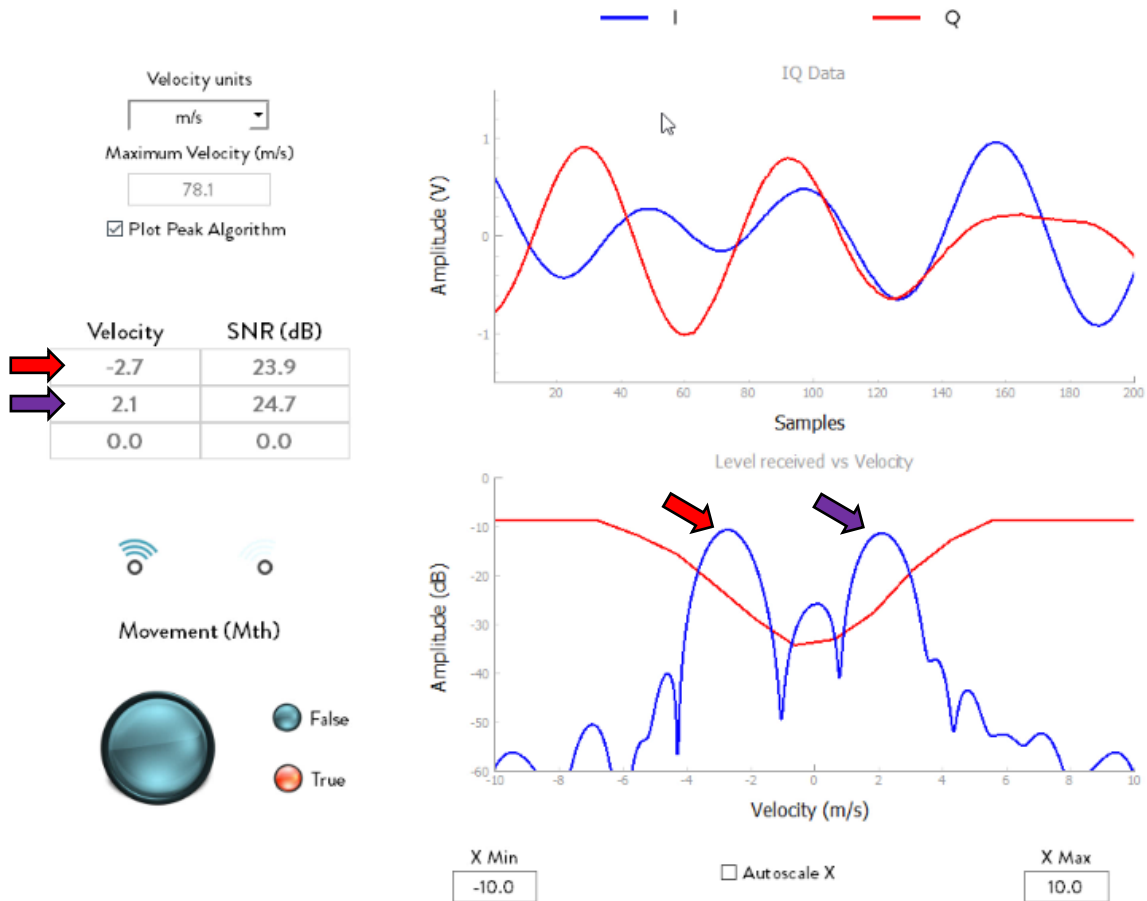
$$Velocidad_{max} = \frac{1875}{f_0 (GHz)}$$

Maximum Velocity (m/s)

Justo debajo, hay una casilla denominada *Plot Peak Algorithm*. Al activar esta casilla, en la gráfica del espectro aparece una línea roja. Esta línea representa el algoritmo de detección de picos que comentábamos más arriba. Para que un pico se considere objetivo detectado,

como mínimo debe sobrepasar esta línea roja, aunque además debe cumplir alguna condición más que haga que no sea descartado.

Vemos a continuación un ejemplo donde se detectan dos objetivos, uno acercándose y otro alejándose, su relación de picos en el espectro y los resultados en la tabla.



Por último, en la parte inferior izquierda, se encuentra el led que te avisa si se ha detectado un movimiento.



Para que este led funcione, primero debes activarlo en *Configuration Parameters*, en el desplegable del parámetro *Mth*. El led se pondrá rojo si hay un movimiento detectado y azul si no lo hay.

## Visualizar Resultados – Modo 2

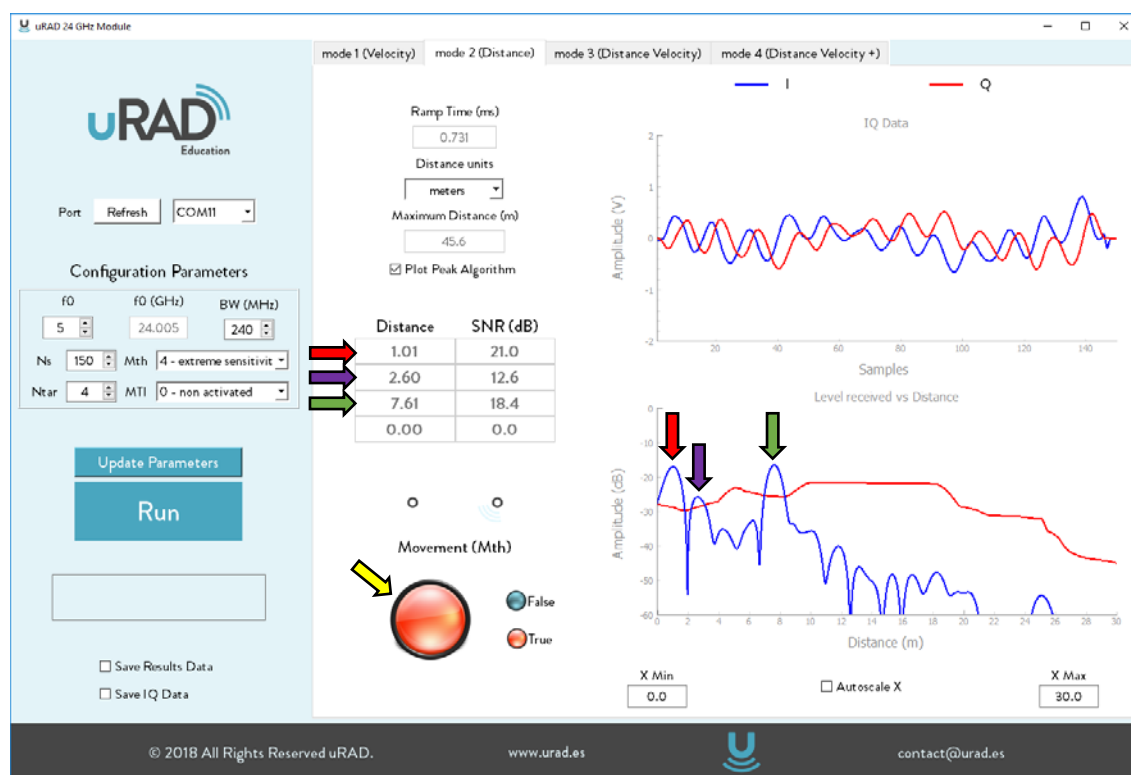
Los resultados que se muestran en el modo 2 son similares a los del modo 1, excepto que en este modo se muestran solo resultados de distancia, en lugar de velocidad.

La gráfica del espectro, se titula en este caso *Level received Vs Distance*. Debido a que en este caso la señal emitida está modulada en frecuencia mediante una rampa que varía en el tiempo, el eje-x del espectro corresponde con la distancia de los objetivos a uRAD.

En la parte superior izquierda se muestra la información de la duración de la rampa en milisegundos, *Ramp Time* y la máxima distancia que se puede detectar, *Maximum Distance*. Se pueden seleccionar también las unidades de distancia, *Distance units*. La distancia máxima es función de los parámetros de configuración de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Distancia_{max} = 75 \times \frac{Ns}{BW}$$

Vemos a continuación un ejemplo donde se han detectado 3 objetivos a 3 distancias diferentes y, además, alguno o varios de ellos están en movimiento, ya que el led de movimiento está activado.



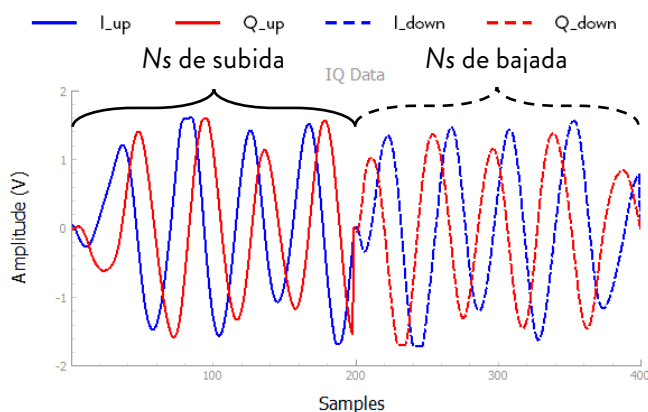
## Visualizar Resultados – Modo 3

El modo 3 permite calcular tanto la velocidad como la distancia de los objetivos debido a que la señal emitida varía en frecuencia de acuerdo a una forma triangular, con una rampa de subida y otra de bajada.

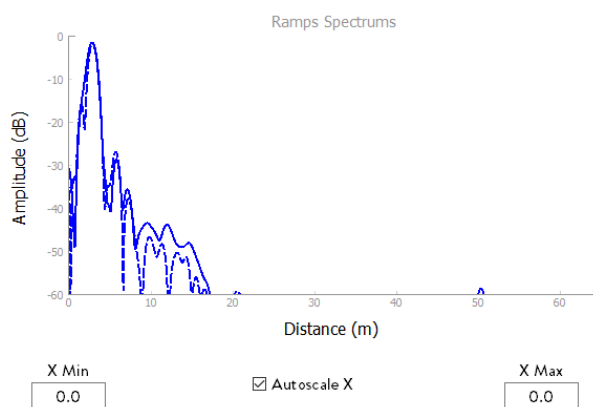


**CONSEJO:** Si deseas aprender un poco más de como las diferentes rampas de frecuencia permiten obtener diferentes resultados, te recomendamos leer el *White Paper* de uRAD, disponible en [www.urad.es](http://www.urad.es).

La gráfica *IQ Data*, en este caso muestra los valores de I y de Q para la rampa de subida y la de bajada. La señal recibida durante la rampa de subida está dibujada con línea continua y la recibida durante la rampa de bajada con línea discontinua. Por tanto, el eje-x tiene el doble de muestras que el  $N_s$  seleccionado, ya que son  $N_s$  para la subida y  $N_s$  para la bajada. Veamos un ejemplo con  $N_s = 200$ , el número de muestras máximo.



En la gráfica del espectro, también aparecen dos señales. De la misma manera, la línea continua corresponde con la FFT de la señal compleja  $I + jQ$  de la rampa de subida, y la discontinua con la FFT de la señal de la rampa de bajada.



En este modo no existe la opción de pintar el algoritmo de detección de pico ya que hemos considerado que pintar dos líneas más sobre esta gráfica sería poco claro.

En este modo también se puede seleccionar las unidades tanto de distancia y velocidad medidas, así como visualizar información del tiempo de rampa, velocidad y distancia máxima. Por lo tanto, la tabla de resultados muestra la información de distancia, velocidad y SNR de los objetivos detectados.

Ramp Time (ms)

Distance units:     Velocity units:

Maximum Distance (m):     Max Speed (m/s):

Distance	Velocity	SNR (dB)
2.87	-0.5	36.3
0.00	0.0	0.0

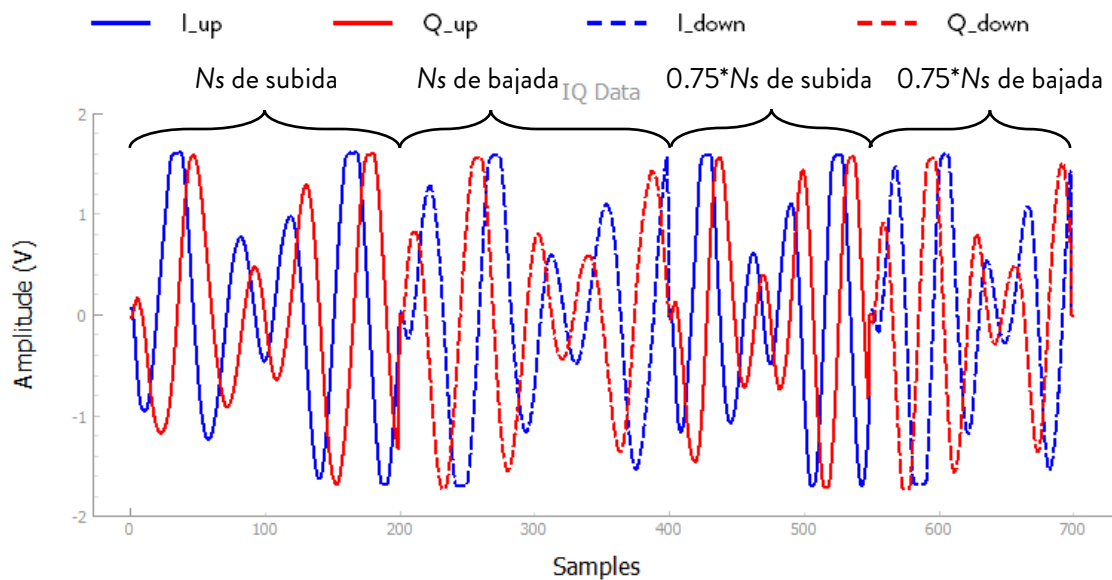
Vemos a continuación un ejemplo típico, donde se ha detectado un solo objetivo a 2.87 metros y acercándose a una velocidad de 0.5 m/s.

The screenshot shows the uRAD 24 GHz Module software interface. On the left, there are configuration parameters including frequency (5 GHz), bandwidth (240 MHz), and a 'Run' button. The main panel displays the same configuration parameters as shown in the previous image, along with a results table and two plots. The results table shows a detected target at 2.87 meters with a velocity of -0.5 m/s and an SNR of 36.3 dB. The 'IQ Data' plot shows the amplitude of the received signal over time, with four traces: I\_up (solid blue), Q\_up (solid red), I\_down (dashed blue), and Q\_down (dashed red). The 'Ramps Spectrums' plot shows the amplitude spectrum of the received signal, with a peak at approximately 2.87 meters. The interface also includes a 'Movement (Mth)' section with a sphere and radio buttons for 'False' and 'True'.

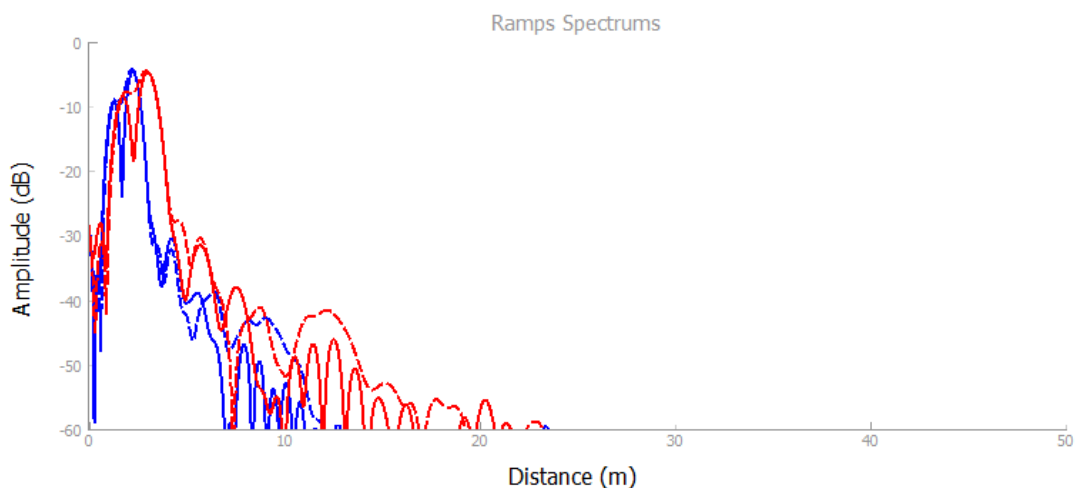
## Visualizar Resultados – Modo 4

El modo 4 es muy similar al modo 3, ya que también permite obtener información de velocidad y distancia. En este modo, la señal transmitida también varía en frecuencia de acuerdo a dos señales triangulares consecutivas de diferente duración. La primera triangular está formada por una rampa de subida y otra de bajada de  $N_s$  muestras cada una, y la segunda triangular por una rampa de subida y otra de bajada de  $0.75*N_s$  muestras cada una.

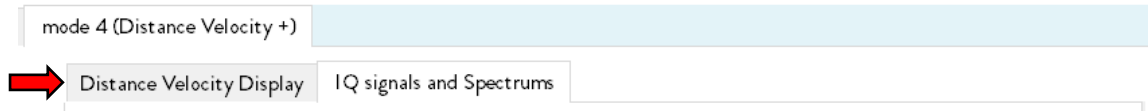
Esto se puede ver fácilmente en el gráfico *IQ Data*. Veamos un ejemplo de señal recibida con  $N_s = 200$  muestras.



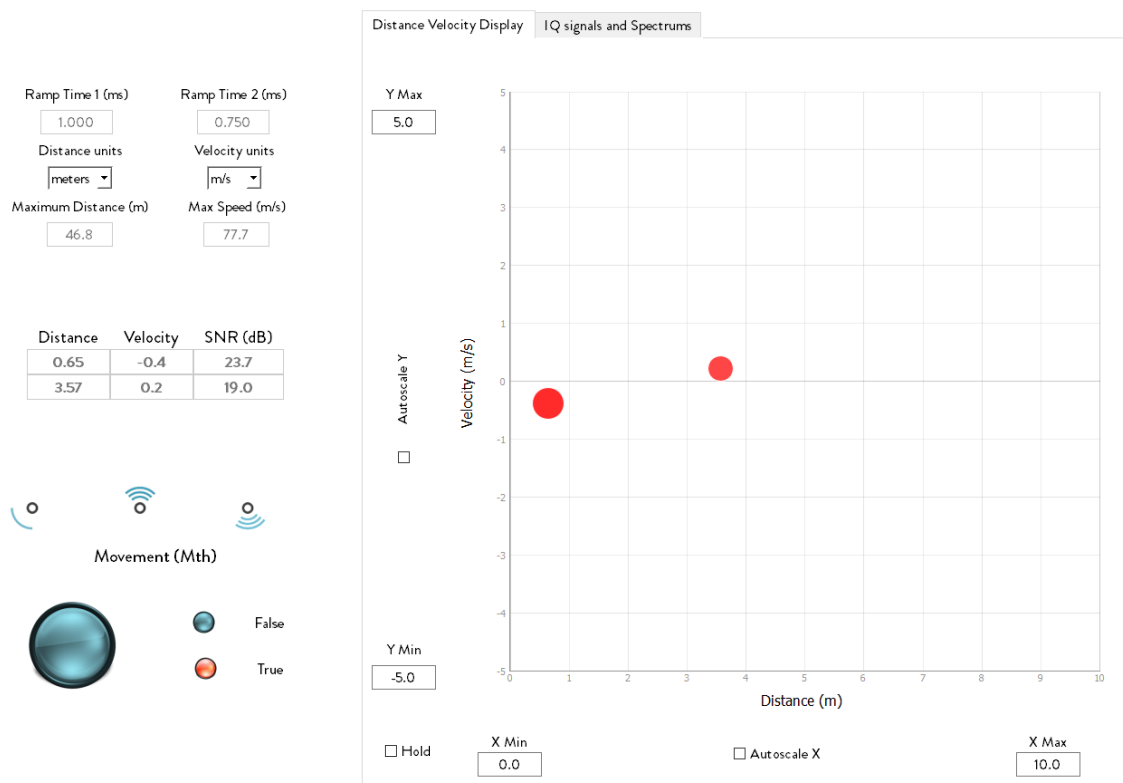
En consecuencia, el espectro mostrará también 4 señales diferentes. La línea azul continua corresponde con la FFT de la primera rampa de subida, la azul discontinua con la primera rampa de bajada, la roja continua con la segunda de subida y la roja discontinua con la segunda de bajada.



En el modo 4 hemos creado una ventana adicional para visualizar los resultados de distancia y velocidad de los objetivos de forma gráfica. Puedes seleccionarla en la pestaña *Distance Velocity Display*.



El hacer click sobre ella verás una pantalla similar a esta. Cada objetivo detectado se representa con un punto rojo. El eje-x corresponde con la distancia a la que se encuentra el objetivo y el eje-y representa la velocidad. El tamaño y opacidad del objetivo es directamente proporcional a su SNR. Los objetivos con SNR alta se verán más grandes y menos transparentes.

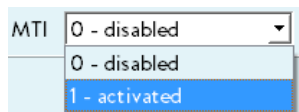


Abajo a la izquierda, hay una casilla activable con la palabra *hold*. Al activarla, los resultados pintados en esta gráfica no desaparecen hasta pasados unos segundos, siendo más sencillo así visualizar la trayectoria de los objetivos.

El resto de opciones e información del modo 4 es igual al modo 3, excepto que se presenta también la información de duración de las rampas de la segunda señal triangular.

## Modo MTI

El modo MTI, seleccionable en la parte de *Configuration Parameters*, nos permite descartar todos aquellos objetivos que están estáticos. El menú desplegable se presenta de la siguiente forma:



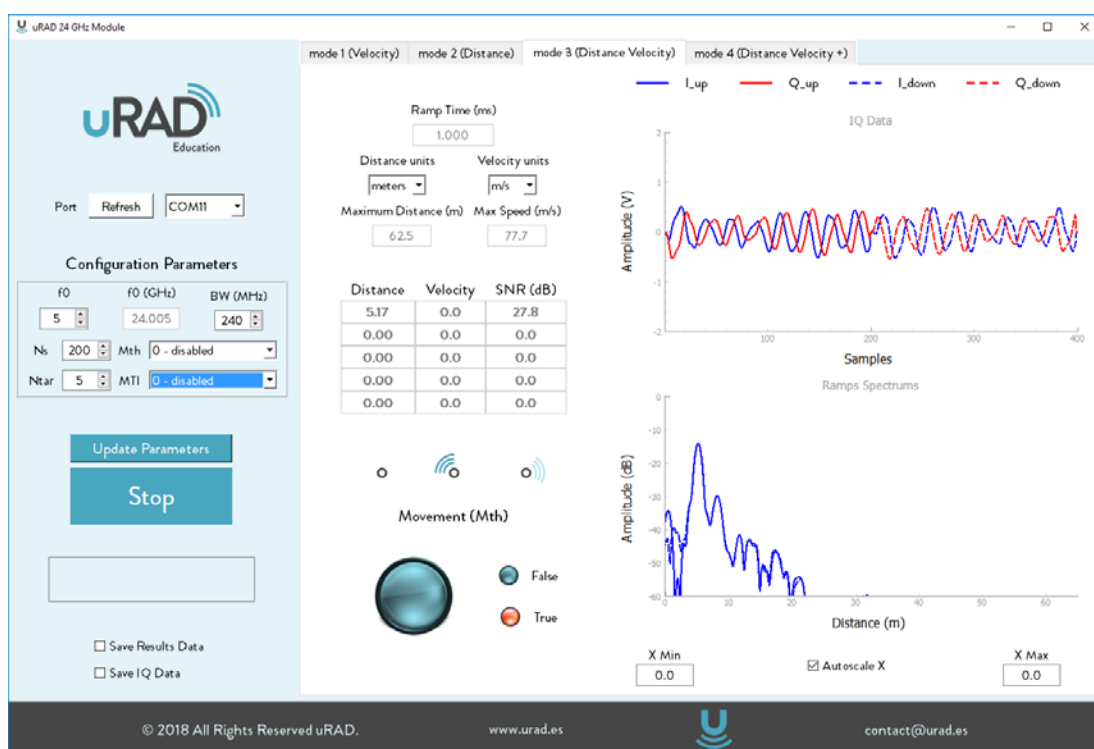
Este modo solo tiene sentido en los modos 2, 3 y 4, ya que el modo 1 solo es para detectar velocidad de objetivos en movimiento y entonces, por defecto, los objetivos estáticos no se detectan.

Vemos a continuación un ejemplo de uso del modo MTI. En este escenario, hay una pared a poco más de 5 metros de uRAD, que permanece estático apuntando a la pared.

Con el modo MTI desactivado, se ve perfectamente la señal reflejada en la gráfica *IQ Data* y como aparece el pico en el espectro. La tabla de resultados también muestra la distancia a la que está la pared.

En la segunda pantalla, el modo MTI se ha activado. En este caso las señales I y Q han desaparecido y el espectro no muestra ningún pico, por lo que la pared ya no se detecta y no aparece en la tabla de resultados.

### Modo MTI desactivado



# Modo MTI activado

The screenshot displays the uRAD 24 GHz Module software interface. The left sidebar contains the uRAD Education logo, a port selection dropdown set to 'COM11', and a 'Configuration Parameters' section. In this section, 'MTI' is set to 'activated'. Below the parameters are 'Update Parameters' and 'Stop' buttons, and checkboxes for 'Save Results Data' and 'Save IQ Data'. The main window shows four modes: 'mode 1 (Velocity)', 'mode 2 (Distance)', 'mode 3 (Distance Velocity)', and 'mode 4 (Distance Velocity +)'. Mode 3 is selected. It features a 'Ramp Time (ms)' input set to 1.000, and dropdowns for 'Distance units' (meters) and 'Velocity units' (m/s). Below these are 'Maximum Distance (m)' (62.5) and 'Max Speed (m/s)' (77.7) inputs. A table displays 'Distance', 'Velocity', and 'SNR (dB)' values, all currently at 0.00. There are also icons for signal strength and a 'Movement (Mth)' section with a sphere and 'False/True' radio buttons. On the right, there are two plots: 'IQ Data' showing Amplitude (V) vs Samples (0-400) with four data series (L\_up, Q\_up, L\_down, Q\_down) all near zero, and 'Ramps Spectrums' showing Amplitude (dB) vs Distance (m) (0-60) with a blue signal peak around 10m. The bottom footer contains copyright information, the website 'www.urad.es', and the contact email 'contact@urad.es'.

Este capítulo contiene información importante de seguridad y manejo de uRAD.

Lea toda la información de seguridad y manejo detallada a continuación y las instrucciones de operación antes de usar uRAD para evitar lesiones o daños.

Mantenga esta guía de usuario a mano para futuras consultas.

## Información Importante de Seguridad



**ATENCIÓN:** El incumplimiento de estas instrucciones de seguridad puede provocar incendios, descargas eléctricas u otras lesiones o daños.

**Manejo adecuado** uRAD contiene componentes electrónicos sensibles. No deje caer, desarme, aplaste, doble, deforme, perforo, triture, cocine en el microondas, incinere, pinte o inserte objetos extraños en uRAD.

**Agua y lugares húmedos** No exponga uRAD al agua o la lluvia, ni lo manipule cerca de lavabos u otras ubicaciones húmedas sin una funda adecuada. Tenga cuidado de no derramar ningún alimento o líquido sobre uRAD. En caso de que uRAD se moje, desenchúfelo de Arduino antes de limpiarlo y déjelo secar completamente antes de volver a encenderlo. No intente secar uRAD con una fuente de calor externa, como un horno de microondas o un secador de pelo.

**Reparaciones de uRAD** Nunca intente reparar o modificar uRAD por su cuenta. Desmontar puede causar daños que no están cubiertos por la garantía. Si uRAD está dañado, funciona mal o entra en contacto con líquido, contáctenos en [contact@urad.es](mailto:contact@urad.es).

**Interferencia de radiofrecuencia** Observe los letreros y avisos que prohíben o restringen el uso de dispositivos de radiofrecuencia. Las emisiones de uRAD pueden afectar negativamente el funcionamiento de otros equipos de radiofrecuencia que funcionan en la misma banda de frecuencia. Apague uRAD cuando su uso esté prohibido, como viajes en avión o cuando las autoridades lo soliciten.

## Información Importante de Manejo



**ATENCIÓN:** El incumplimiento de estas instrucciones de manejo podría ocasionar daños a uRAD u otras propiedades.

**Transporte** uRAD contiene componentes electrónicos sensibles. No lo doble, deje caer ni lo aplaste.

**Limpieza** Para limpiar use una punta suave sin pelusa y alcohol isopropílico. El polvo puede eliminarse con aire a presión de baja potencia.

**Conexión** Nunca fuerce el conector ni aplique una presión excesiva ya que esto puede causar daños que no están cubiertos por la garantía. Compruebe si hay obstrucciones y asegúrese de que los conectores de uRAD coincidan con los conectores de Arduino. En algunos Arduinos, la conexión puede ser más difícil.

**Temperatura de Operación** Mantenga uRAD dentro de unas temperaturas aceptables. Los componentes de uRAD operan desde  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$ , pero recomendamos operar uRAD en el rango de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $65^{\circ}\text{C}$ .

**Información sobre Deshecho y Reciclaje** uRAD debe desecharse adecuadamente de acuerdo con las leyes y regulaciones locales. Debido a que este producto contiene componentes eléctricos, el producto debe desecharse por separado de los desechos domésticos. Póngase en contacto con las autoridades locales para conocer las opciones de reciclaje.

# Garantía del Producto

# 6

## Fabricación

Todos los componentes y aleaciones de soldadura utilizados en este producto cumplen con la Directiva RoHS. La Directiva RoHS impide que todos los equipos eléctricos y electrónicos nuevos comercializados en el Espacio Económico Europeo contengan más niveles de plomo, cadmio, mercurio, cromo hexavalente, bifenilos polibromados (PBB) y éteres difenil polibromados (PBDE) de los permitidos.

## Testeo

Cada *shield* uRAD está sujeto a pruebas estrictas para garantizar que no estén defectuosos:

- Primero, se prueba exhaustivamente para detectar cortocircuitos y conexiones abiertas.
- En segundo lugar, se alimenta para verificar que no haya voltajes fuera de rango.
- Luego, el microcontrolador se programa y depura.
- Seguidamente, la placa se conecta a un Arduino y se ejecutan varios programas de prueba para verificar su funcionalidad general.
- Por último, se comprueba que la señal radiada está por debajo de los estándares permitidos por la ETSI en esta banda de frecuencias.

## Declaración de Garantía Limitada

**IMPORTANTE:** AL UTILIZAR LOS PRODUCTOS DE uRAD, ACEPTA ESTAR LIMITADO POR LOS TÉRMINOS DE ESTA DECLARACIÓN DE GARANTÍA LIMITADA. NO USE SUS PRODUCTOS HASTA QUE HAYA LEÍDO LOS TÉRMINOS DE LA GARANTÍA. SI NO ESTÁ DE ACUERDO CON LOS TÉRMINOS DE LA GARANTÍA, NO UTILICE LOS PRODUCTOS Y DEVUELVALOS. ESTA GARANTÍA LIMITADA ES EL ÚNICO Y EXCLUSIVO RECURSO DEL USUARIO FINAL CONTRA uRAD, CUANDO LO PERMITA LA LEY.

## 1. Garantías

1.1 uRAD garantiza que sus productos cumplirán las especificaciones detalladas en su correspondiente hoja de características. La garantía tiene una duración de 1 año a partir de la fecha de venta si el *shield* se compra fuera de la UE y una duración de 2 años si se compra en la UE. uRAD no será responsable de los defectos causados por negligencia, mal uso o maltrato, incluidos los productos que el Cliente haya modificado o alterado de alguna manera.

1.2 Si algún producto uRAD no cumple con la garantía establecida anteriormente, la única responsabilidad de uRAD será reemplazar o reparar dichos productos. La responsabilidad de uRAD se limitará a los productos que uRAD determine que no se ajustan a dicha garantía. Si uRAD elige reemplazar o reparar dichos productos, uRAD dispondrá de un tiempo razonable para proporcionar los reemplazos. Los productos reemplazados o reparados estarán cubiertos por un nuevo período de garantía completa.

1.3 El Cliente acepta no utilizar los productos uRAD para ninguna aplicación o componente utilizado en dispositivos de soporte vital o para operar instalaciones nucleares o para su uso en otras aplicaciones o componentes de misión crítica donde la vida humana o la propiedad puedan estar en juego. El Cliente reconoce y acepta que dicho uso es únicamente bajo la responsabilidad del Cliente, y que el Cliente es el único responsable del cumplimiento de todos los requisitos legales y reglamentarios relacionados con dicho uso.

1.4 uRAD puede proporcionar asesoramiento técnico, de aplicaciones o de diseño. El Cliente reconoce y acepta que la prestación de estos servicios no ampliará ni alterará las garantías de uRAD *shield*, como se establece anteriormente, y que no surgirán obligaciones u obligaciones adicionales de uRAD al brindar dichos servicios.

1.5 uRAD renuncia a todas las demás garantías, explícitas o implícitas, con respecto a los productos, incluidas, entre otras, las garantías implícitas de comerciabilidad o idoneidad para un fin determinado.

1.6 El Cliente reconoce y acepta que el Cliente es el único responsable del cumplimiento de todos los requisitos legales, normativos y de seguridad relacionados con los productos y el uso de los productos uRAD en las aplicaciones del Cliente, sin perjuicio de cualquier información o soporte relacionado con las aplicaciones que puedan ser provistas por uRAD.

1.7 En ningún caso uRAD será responsable ante el Cliente o ante terceros por daños especiales, colaterales, indirectos, punitivos, incidentales, consecuentes o ejemplares relacionados con o derivados de los productos proporcionados de aquí en adelante, independientemente de si se ha avisado a uRAD de la posibilidad de tales daños. Esta sección sobrevivirá a la finalización del período de garantía.