



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Máster Universitario en Ingeniería de
Telecomunicación

Prácticas de Sensores y Redes de Sensores

TIE

Autor:

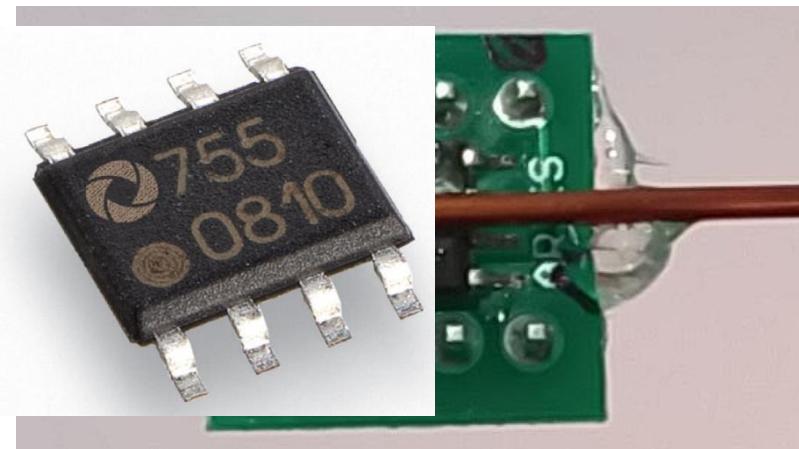
Andrés Ruz Nieto
Gerardo Arias Martínez

VALENCIA, 2022

Medida de Corriente: Sensor Magnetorresistivo Y Transformador de Corriente



AMPERÍMETRO BASADO EN MAGNETORRESISTENCIA ANISOTROPA (AMR)



- 1.- INTRODUCCIÓN.
- 2.- MATERIAL UTILIZADO.
- 3.- CIRCUITO PROPUESTO.
- 4.- DESARROLLO TEÓRICO.
- 5.- DESARROLLO PRÁCTICO.
 - 5.1.- CARACTERIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR.
- 6.- ESPECIFICACIONES.

1.- INTRODUCCIÓN.

La magnetorresistencia anisótropa (AMR) es un sensor pasivo a dos terminales formado por una resistencia variable en función del campo magnético. La magnetorresistencia tiene una dirección de imanación privilegiada (anisotropía magnética) que le confiere una respuesta no lineal. No obstante, la magnetorresistencia puede linealizarse al incorporar en la magnetorresistencia tiras altamente conductoras a 45º respecto a la dirección de anisotropía (configuración en “polo de barbero”). La magnetorresistencia sensa campo magnético y presenta una elevada sensibilidad que le permite medir campos magnéticos muy inferiores al campo terrestre ($H_T \approx 0,5\text{Oe} \approx 40 \text{ A/m}$). La AMR permite medir en la banda de frecuencia desde DC a 1MHz. Para poder medir campos inferiores al terrestre debe anularse el efecto del campo terrestre, lo cual se hace generando un campo igual al terrestre y de sentido contrario, generado por el paso de una corriente ajustable que circula por una bobina integrada en el propio sensor. La magnetorresistencia puede perder su imanación en la dirección de anisotropía, o simplemente invertir el sentido de la imanación. Dado que los sensores magnetorresistivos suelen venir en una configuración con cuatro magnetoresistencias montadas en un puente de Wheatstone, esta inversión de la imanación provoca un efecto de “flipping” (inversión del sentido de la imanación), provocando el cambio de signo de la tensión de salida del puente. Para evitar este efecto de “flipping” y partir de una saturación magnética en la dirección de anisotropía, los sensores magnetorresistivos integran otra bobina, por la cual, al aplicar una corriente, satura magnéticamente la magnetorresistencia en el sentido de la anisotropía deseado.

La magnetorresistencia sensa campo magnético, no obstante, puede emplearse para la medida de corriente, ya que el paso de una corriente por un hilo conductor origina un campo magnético circular proporcional a dicha corriente. En esta práctica, comprobaremos la variación de la tensión de salida del puente magnetorresistivo al aplicar un campo magnético y diseñaremos un sensor de corriente. Las magnetoresistencias responde desde campos magnéticos continuos y hasta del orden de 1MHz. Por tanto, podremos diseñar amperímetros que midan desde DC hasta alrededor del MHz.

2.- MATERIAL UTILIZADO.

Se adjunta una detallada información sobre las características del sensor de campo magnético utilizado para medir corriente:

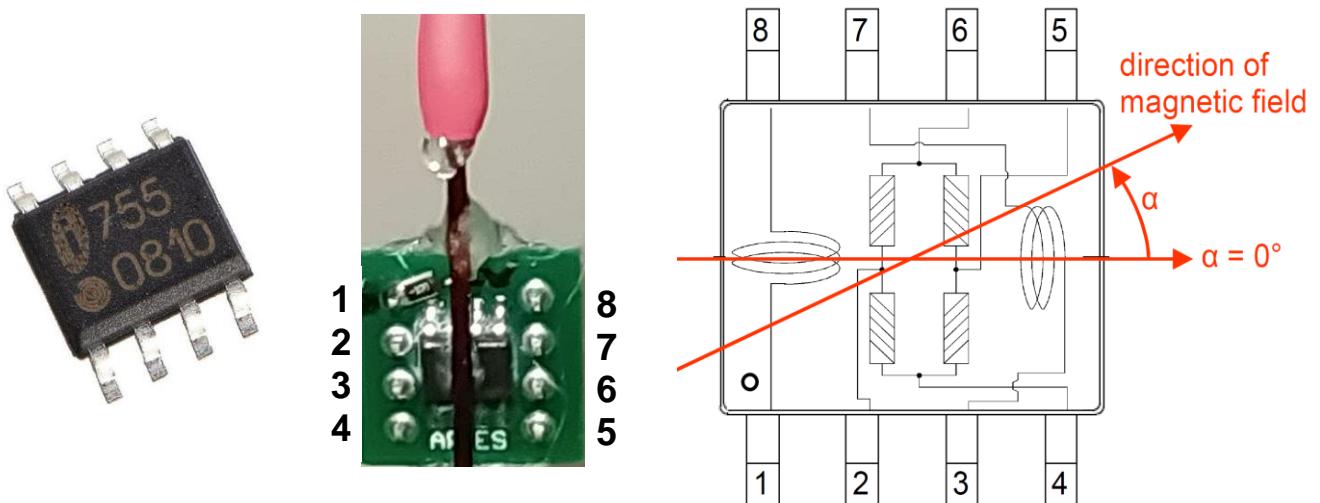
- Sensor magnetorresistivo AFF755B
- Amplificador de instrumentación integrado AD620

2.1.- Sensor de Campo Magnético Magnetorresistivo: AFF755B

El AFF755B es un sensor de campo magnético basado en el efecto magnetorresistivo. El sensor se integra en un circuito integrado que incorpora un puente de Wheatstone compuesto de cuatro magnetoresistencias anisótropas (AMR). Además del puente de Wheatstone magnetorresistivo, el CI incorpora una bobina de corrección de offset y una bobina para saturar la AMR en la dirección de anisotropía (“flipping coil”). Este sensor es ideal para la detección de campos magnéticos débiles (con resolución de $2 \text{nT} = 20\mu\text{G}$), incluido el campo magnético terrestre (del orden de 0,5 G). En la

Fig.1 puede verse una imagen del CI AFF755B, así como una imagen del CI con el hilo de cobre de 1mm de diámetro pegado en la superficie superior del CI, de forma que el campo magnético creado por el paso de corriente por el hilo de Cu origine un campo máximo en el sensor magnetoresistivo. En la imagen se observa que el hilo de Cu presenta un canuto rojo con objeto de indicarnos la orientación del CI para identificar correctamente los pines, tal como se muestra en la imagen. También puede observarse un esquemático con la distribución de los componentes en el interior del sensor, así como su patillaje. Puede observarse que el “flipping coil” está conectado entre los pines 1-8, la alimentación del puente de Wheatstone entre los pines 4-6, la salida del puente entre los pines 2-5, y la bobina para compensación de offset (campo terrestre) entre los pines 3-7.

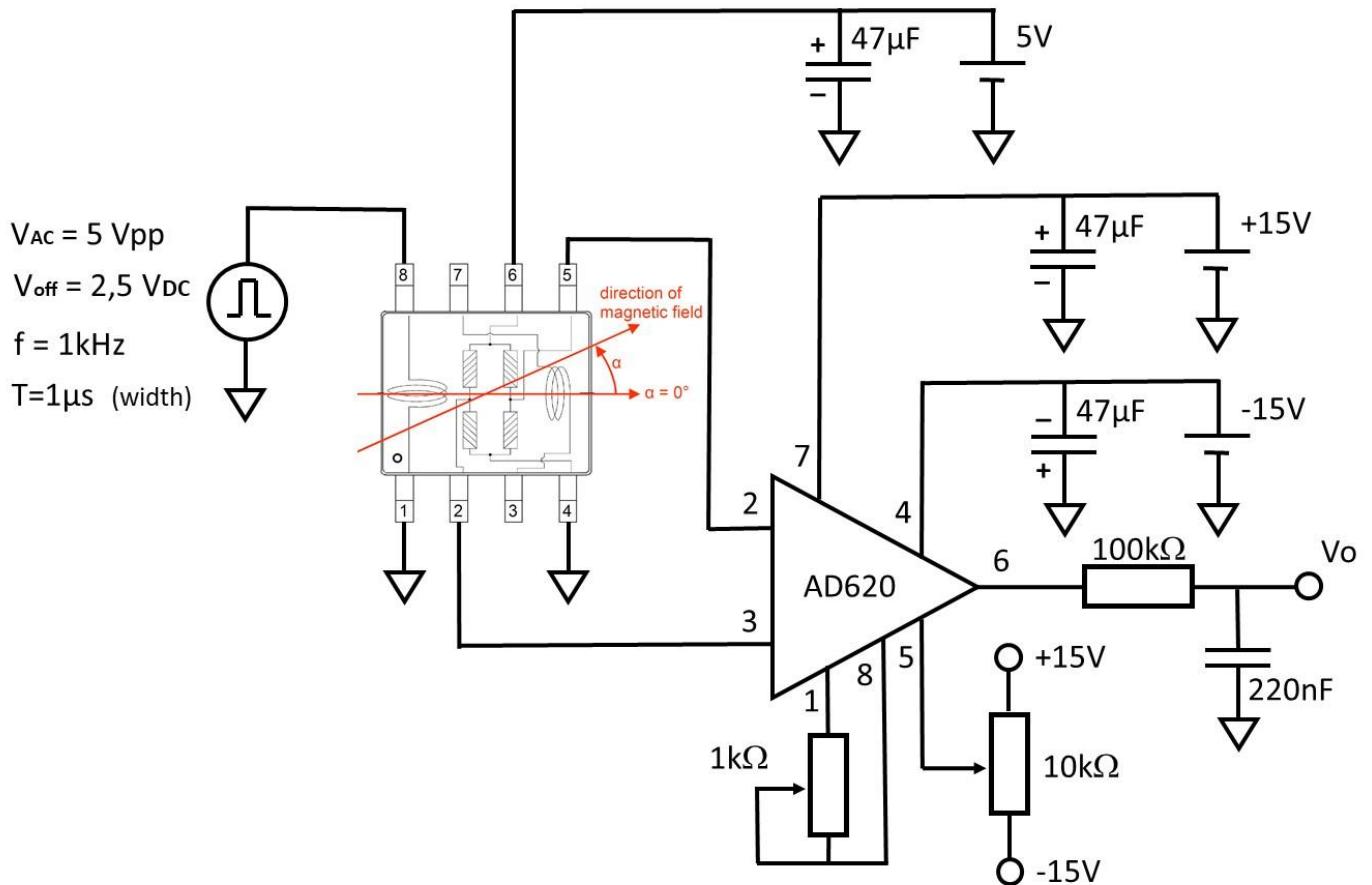
Figura 1: Imagen del sensor AFF755B basado en un puente con AMR. Disposición de los pines



de la AMR y esquemático de la composición interna y pines de conexión.

3.- CIRCUITO PROPUESTO

En la Fig.2 se muestra el circuito propuesto para la realización de la práctica. La tensión diferencial de salida del sensor (puente de Wheatstone) se amplifica con un amplificador de instrumentación integrado (AD620). Con el potenciómetro de $10k\Omega$ ajustamos el offset a cero a la salida y con el potenciómetro de $1k\Omega$ ajustamos la ganancia del amplificador para tener la sensibilidad deseada en la medida de la corriente. Entre los pines 1-8 se aplican pulsos unipolares (0 - 5V), a una frecuencia de 1kHz y con una anchura del pulso de 1 μ s. Con esto se consigue que las AMR partan de una condición de saturación magnética en la dirección de anisotropía.



4.- DESARROLLO TEÓRICO.

1.- Determine la sensibilidad del sensor.

$$S = 15 \text{ mV}/(\text{V} \cdot \text{kA/m})$$

2.- Para una tensión de excitación del puente de Wheatstone de 5V determine la sensibilidad del sensor.

$$S = 5\text{V} * 15 \text{ mV}/(\text{V} \cdot \text{kA/m}) = 75 \text{ mV/kA/m} = 75 \mu\text{V/A/m}$$

3.- Sabiendo que el campo terrestre es de alrededor de 40A/m, determinar la tensión de salida del sensor debido al campo terrestre.

$$V_{\text{out}} = 75 \mu\text{V/A/m} * 40\text{A/m} = 3 \text{ mV}$$

- 4.-** Con objeto de utilizar el sensor para medir corriente se ha colocado un hilo de Cu de 1mm de diámetro sobre el CI, de forma que el campo magnético generado por el paso de corriente sea en la dirección de sensado del puente. Según especificaciones del CI, el puente magnetorresistivo está colocado 0.4mm por debajo de la superficie. Determinar el campo magnético generado en el puente cuando circula una corriente de 1A por el hilo de Cu (para ello, considerar que la distancia del centro de hilo de Cu y el puente magnetorresistivo es de 1,2mm, ya que debemos tener en cuenta el espesor del esmalte del hilo de Cu, así como el espesor del pegamento utilizado en el pegado).

$$\text{Si } H = B/\mu; \quad B = \mu_0(I/2\pi d) \text{ siendo } d = 1.2 \text{ mm e } I = 1 \text{ A}$$

$$H = 132,63 \text{ A/m d}$$

- 5.-** Determinar la ganancia que deberíamos tener en el amplificador conectado a la salida del puente para obtener una sensibilidad de 1V/A. Determinar el valor de la resistencia de ajuste de ganancia para obtener esta ganancia (potenciómetro de 1kΩ en el esquemático de la fig.2). La ganancia del AD620 es $G=1+49,4k\Omega/R_g$.

$$G = \frac{S_{out}}{S_{vdd}} = \frac{\frac{1V}{A}}{\frac{75 \times 10^{-6}V}{\frac{A}{m}} * \frac{1}{1.2 \times 10^{-3}m}} = 16$$

$$G = 1 + \frac{49.4k}{R_g} = 16 \quad \text{despejado} \quad R_g = 3.2933k\Omega$$

5.- DESARROLLO PRÁCTICO.

Con objeto de ajustar el amperímetro diseñado, seguir los siguientes pasos:

- 1.- Montar el circuito de la fig.2.

Para el montaje del circuito acondicionador no ha sido necesario el uso de los condensadores electrolíticos.

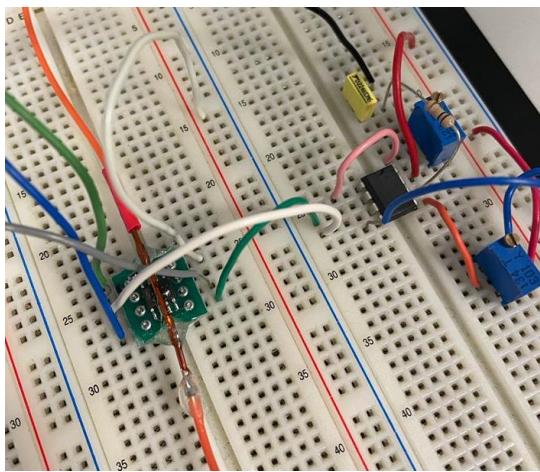


Figura 3: Circuito acondicionador

Observando la *figura 3* y comparándola con la *figura 2*, se pueden diferenciar los distintos componentes del circuito. A la izquierda de la imagen se encuentra el sensor magnetorresistivo AFF755B con su correspondiente conexionado. A la derecha, de color azul diferenciamos a los potenciómetros de $10\text{ K}\Omega$ y $1\text{ K}\Omega$ junto a la resistencia de $100\text{ K}\Omega$ y el condensador de 220 nF . Por último, de color negro, el amplificador de instrumentación integrado AD620.

- 2.- Visualizar en el osciloscopio la señal configurada en el generador de funciones y realizar una captura de la misma. Conectar dicha señal al pin 8 del sensor AFF755B y visualizar y capturar dicha señal. Adjuntar las dos señales a la memoria y justificar a que se debe dicha diferencia.

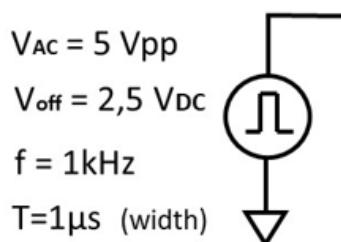


Figura 4: Señal a configurar



Figura 5: Señal en el osciloscopio

- 3.-** Utilizando la fuente variable de tensión como fuente de corriente aplicar una corriente de 1A al sensor de corriente (hilo de Cu de 1mm de diámetro).
- 4.-** Ajustar los potenciómetros de ajuste de offset ($10k\Omega$) y de ganancia ($1k\Omega$) para obtener 1V/A y tensión nula a corriente nula. Tendrá que realizar un ajuste iterativo entre offset y ganancia. Tenga en cuenta que el campo magnético terrestre (o cualquier otro campo magnético, como el debido a un material ferromagnético imanado, como un destornillador) será detectado por el sensor, de modo que mantenga la placa de montaje en una posición fija al realizar los ajustes y no acerque al sensor ningún material ferromagnético.

Tras el ajuste iterativo entre offset y ganancia, modificando con un destornillador los potenciómetros y cambiando la orientación de la placa, se consiguieron los resultados que aparecen en las *figuras 6* y *7*.

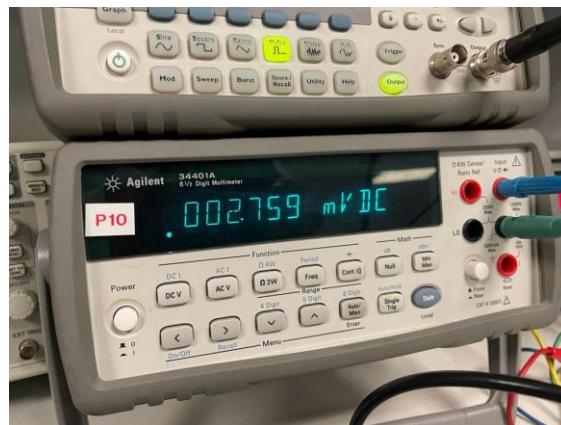


Figura 6: Offset obtenido tras ajustar los potenciómetros y cambiar la placa de posición

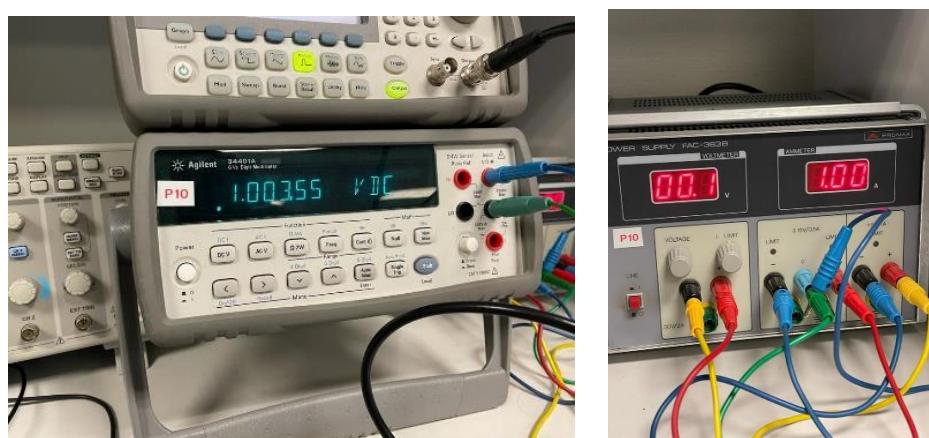


Figura 7: Ganancia V/A obtenida

- 5.- Visualizar la señal DC de salida del acondicionador en el osciloscopio, pero realizar las medidas de tensión con el multímetro digital.

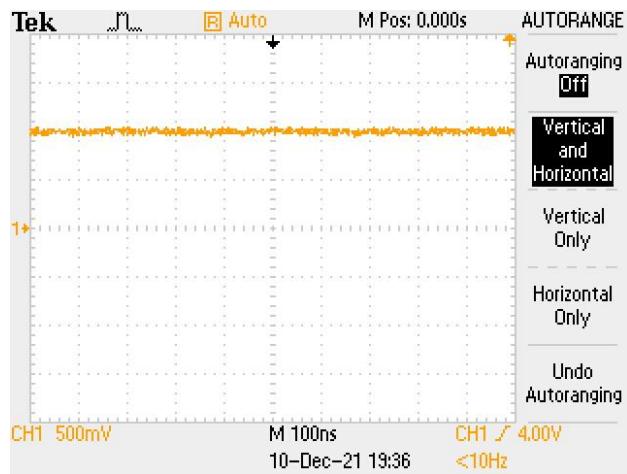


Figura 8: Señal DC de salida

5.1.- CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR

1.- Una vez ajustado el amperímetro, verificar su correcto funcionamiento cumplimentando la siguiente tabla (caracterización en corriente DC). La corriente se generará con la fuente variable actuando como fuente de corriente.

Intensidad	I medida	Intensidad	I medida
-2000 mA	-1948 mA	0 mA	3.6 mA
-1900 mA	-1849 mA	100 mA	104 mA
-1800 mA	-1763 mA	200 mA	208 mA
-1700 mA	-1663 mA	300 mA	304 mA
-1600 mA	-1578 mA	400 mA	405 mA
-1500 mA	-1481 mA	500 mA	508 mA
-1400 mA	-1384 mA	600 mA	612 mA
-1300 mA	-1286 mA	700 mA	704 mA
-1200 mA	-1198 mA	800 mA	808 mA
-1100 mA	-1099 mA	900 mA	905 mA
-1000 mA	-997 mA	1000 mA	1005 mA
-900 mA	-903 mA	1100 mA	1096 mA
-800 mA	-801 mA	1200 mA	1195 mA
-700 mA	-704 mA	1300 mA	1228 mA
-600 mA	-604 mA	1400 mA	1389 mA
-500 mA	-499 mA	1500 mA	1480 mA
-400 mA	-400 mA	1600 mA	1570 mA
-300 mA	-296 mA	1700 mA	1661 mA
-200 mA	-200 mA	1800 mA	1750 mA
-100 mA	-98 mA	1900 mA	1845 mA
-0 mA	-4.7 mA	2000 mA	1931 mA

Tabla 1: Comprobación del valor de la corriente

- 2.-** Representar gráficamente las medidas correspondientes a la caracterización del sensor y determinar la linealidad en el rango de 1A y de 2A. Contrastar los resultados obtenidos con los reflejados en las especificaciones.

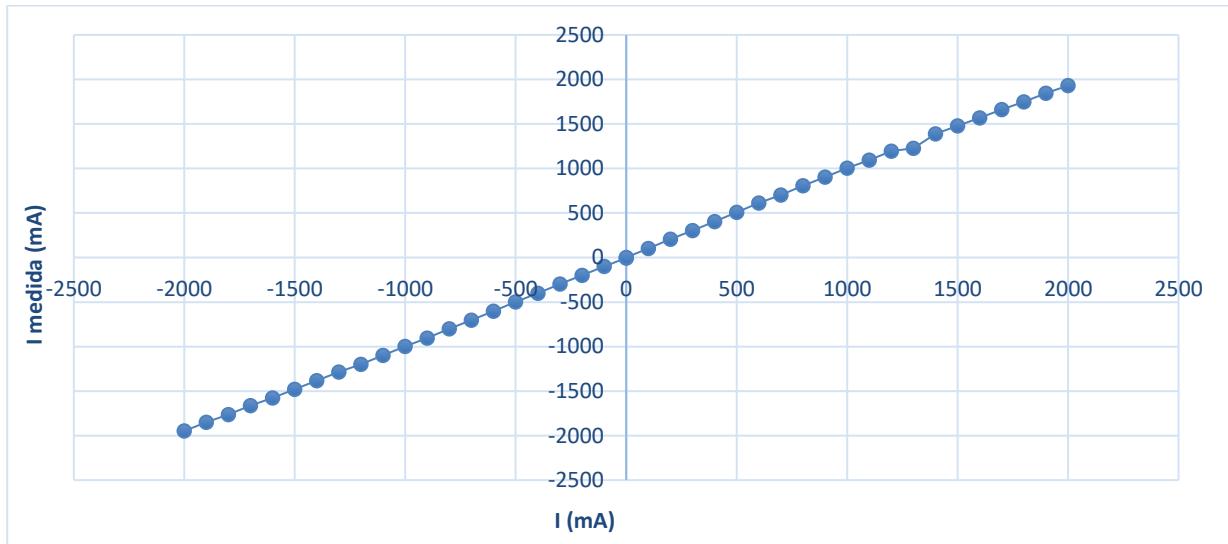


Figura 9: Linealidad de las medidas obtenidas en la *Tabla 1*

- 3.-** Para comprobar el efecto del campo terrestre o de un material ferromagnético imanado, acerque un destornillador al sensor y compruebe la variación de la tensión de salida. Con el acondicionador ajustado con cero offset y sensibilidad de 1V/A, vaya rotando la placa y midiendo la tensión de salida del sensor en función del ángulo (para incrementos de aproximadamente 30°). Determine los valores máximo y mínimo de tensión de salida y saque conclusiones respecto a la dirección del campo terrestre y su intensidad.

Tal y como pide el apartado, se acercó un destornillador al sensor lo que produjo oscilaciones en la tensión de salida llegando a desaparecer de la pantalla del osciloscopio.

También se rotó la placa alcanzando un valor mínimo de 1.003 V (*figura 7*). El laboratorio al estar debajo de una cámara anechoica sufre perturbaciones de campo siendo también influyente en las medidas.

6.- ESPECIFICACIONES.

A continuación, se dispone de las especificaciones correspondientes a los siguientes componentes o material utilizado:

- Sensor de campo magnético magnetoresistivo: AFF755B
- Amplificador de instrumentación integrado: AD620



AFF755B

MagnetoResistive Field Sensor

Data sheet

The AFF755B is a low noise magnetic field sensor based on the Anisotropic MagnetoResistive (AMR) effect.

The sensor contains a Wheatstone bridge including a flip coil for offset correction. This measurement principle also reduces the temperature coefficient of the offset by a factor of 100.

This sensor is ideally suited for the detection of weak magnetic fields (< 20 µG resp. < 2 nT) including the earth magnetic field.

The voltage necessary for driving the required flip-current of 150 mA is smaller than 0.5 V. This allows the serial connection of 3 sensors for a 3-axis measurement with typical supply voltages available in battery powered devices.

The AFF755B is available as a SO8 package (RoHS-conform) for SMD assembly.



AFF755B

Product overview

Article description	Package	Delivery Type
AFF755BHA-AD	SO8	Tape on reel
AFF755BMA-AD	LGA	Tape on reel

Quick reference guide

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{CC}	Supply voltage	1.2	5	9	V
R _B	Bridge resistance	2.2	2.5	2.8	kΩ
S	Sensitivity (in range ±160 A/m)	13	15	17	mV/V kA/m
I _F	Flip current (required)	±150	-	-	mA
R _F	Flip coil resistance	-	1.5	2.0	Ω

Absolute maximum ratings

In accordance with the absolute maximum rating system (IEC60134).

Symbol	Parameter	Min.	Max.	Unit
V _{CC}	Supply voltage	-20	+20	V
I _{Fmax}	Maximum flip current ²⁾	-1	+1	A
P _F	Maximum flip power dissipation	-	50	mW
T _{amb}	Ambient temperature	-40	+125	°C
T _{stg}	Storage temperature	-40	+150	°C
V _{isolation}	Voltage between bridge and flip coil	-250	+250	V
MSL	Moisture sensitivity level		2	

2) 10 µs pulse, 400 µs pause.

Features

- Based on the Anisotropic MagnetoResistive (AMR) effect
- Contains one Wheatstone Bridge
- Integrated flip coil
- Temperature range from -40 °C to +125 °C

Advantages

- Extreme sensitivity
- Wide range of magnetic field strength
- Low power consumption
- Low flip coil resistance
- Very good signal to noise ratio

Applications

- Compass
- Navigation Systems
- Battery powered applications
- Magnetometry
- Measurement of terrestrial magnetic field
- Traffic detection

**AFF755B****MagnetoResistive Field Sensor****Magnetic data**

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
H _{ext}	Operating magnetic field range		-400	-	+400	A/m
B _{RES}	Resolution	V _{CC} = 5 V; BW = 50 Hz	-	2	-	nT

Electrical data of MR-bridgeT_{amb} = 25 °C; V_{CC} = 5 V; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{CC}	Supply voltage		1.2	5	9	V
S	Sensitivity	In the operating range of ±160 A/m	13	15	17	mV/V kA/m
TC _S	Temperature coefficient of Sensitivity ¹⁾	See Fig. 3	-0.32	-0.36	-0.40	%/K
R _B	Bridge resistance ²⁾		2.2	2.5	2.8	kΩ
TC _{RB}	Temperature coefficient of R _B ³⁾		0.22	0.26	0.30	%/K
V _{off}	Offset voltage per V _{CC}		-0.5	-	+0.5	mV/V
TC _{Voff}	Temperature coefficient of V _{off} ⁴⁾		-1	-	+1	µV/V/K
H _{off}	Magnetic offset per V _{CC}		-	0.15	-	A/m/V
N	Noise level	f > 100 Hz	-	10	20	nV/√Hz
ε _{Lin,80}	Linearity error @ ±80 A/m	-80 ≤ H _{ext} ≤ +80 A/m	-	0.15	0.25	% of FS
ε _{Lin,240}	Linearity error @ ±240 A/m	-240 ≤ H _{ext} ≤ +240 A/m	-	0.80	0.90	% of FS
ε _{Lin,400}	Linearity error @ ±400 A/m	-400 ≤ H _{ext} ≤ +400 A/m	-	2.30	2.70	% of FS

$$1) \quad TC_S = 100 \cdot \frac{S_{(T2)} - S_{(T1)}}{S_{(T1)} \cdot (T_2 - T_1)} \text{ with } T_1 = 25^\circ\text{C}; T_2 = 125^\circ\text{C}.$$

2) Bridge resistance between pins 2 and 5, 4 and 6.

$$3) \quad TC_{RB} = 100 \cdot \frac{R_{B(T2)} - R_{B(T1)}}{R_{B(T1)} \cdot (T_2 - T_1)} \text{ with } T_1 = 25^\circ\text{C}; T_2 = 125^\circ\text{C}.$$

$$4) \quad TC_{Voff} = \frac{V_{off(T2)} - V_{off(T1)}}{T_2 - T_1} \text{ with } T_1 = 25^\circ\text{C}; T_2 = 125^\circ\text{C}.$$

Electrical data of flip coil and test connectorsT_{amb} = 25 °C; V_{CC} = 5 V; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I _F	Flip current (required)	1 µs on, 1 ms off	±150	-	-	mA
t _{IF}	Flip pulse duration		-	1	2	µs
I _{Fmax}	Flip current (maximum)	10 µs on, 400 µs off	-	-	±1	A
R _F	Flip coil resistance		-	1.5	2.0	Ω
TC _{RF}	Temperature coefficient of R _F ⁵⁾		0.30	0.35	0.40	%/K
I _{test}	Test current		-	-	200	mA
H _{test}	Magnetic field strength per test current		0.20	0.22	0.24	A/m/mA

$$5) \quad TC_{RF} = 100 \cdot \frac{R_{F(T2)} - R_{F(T1)}}{R_{F(T1)} \cdot (T_2 - T_1)} \text{ with } T_1 = 25^\circ\text{C}; T_2 = 125^\circ\text{C}.$$

Dynamic data

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
f	Frequency range		1	-	-	MHz

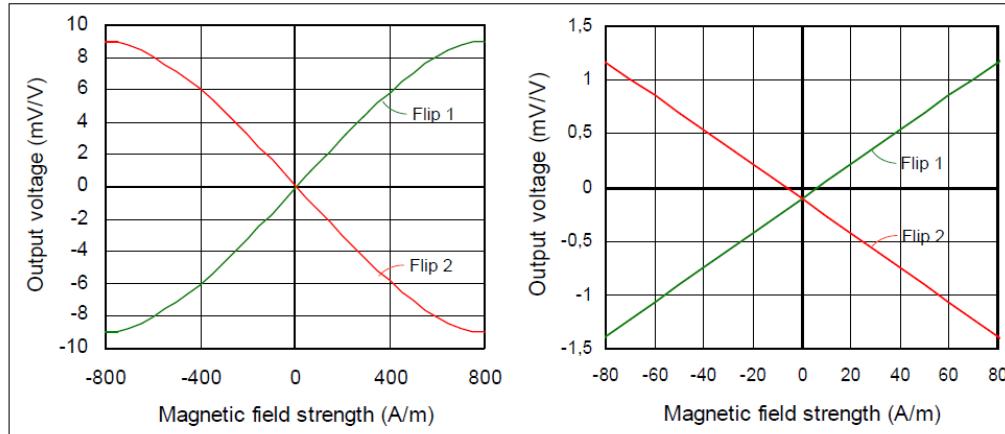
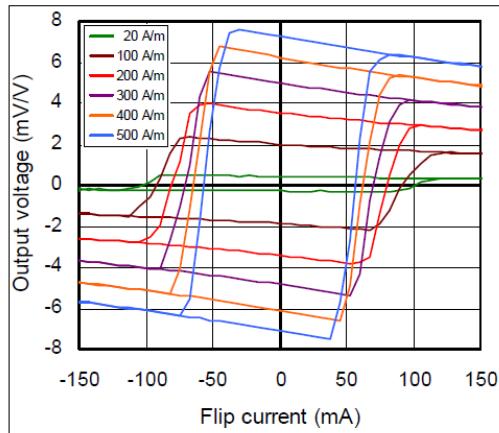
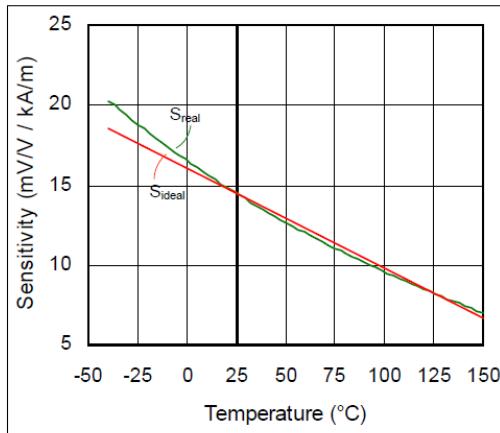
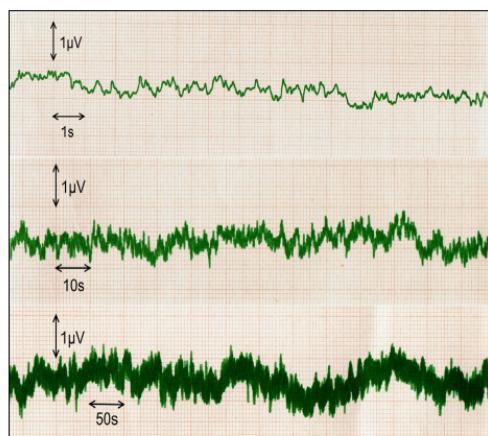
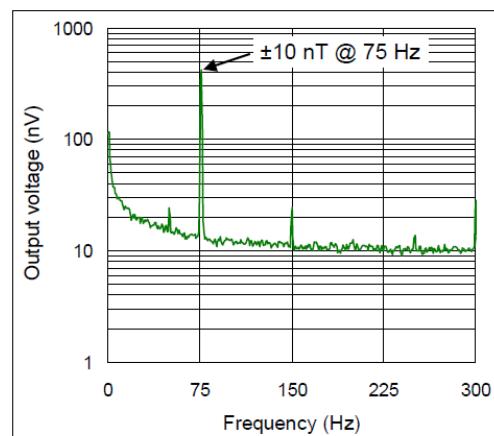
AFF755B
MagnetoResistive Field Sensor
Typical performance graphs
Fig. 1: Output voltage as a function of the magnetic field strength ($\alpha = 0^\circ$).Fig. 2: Output voltage vs. flip current at different H_{ext} .

Fig. 3: Sensitivity vs. ambient temperature.

Fig. 4: Noise level for frequencies below 1 Hz ($V_{CC}=5$ V).Fig. 5: Noise spectrum ($H_{ext} = \pm 10$ nT, $V_{CC} = 5$ V).

AFF755B MagnetoResistive Field Sensor

Typical performance graphs

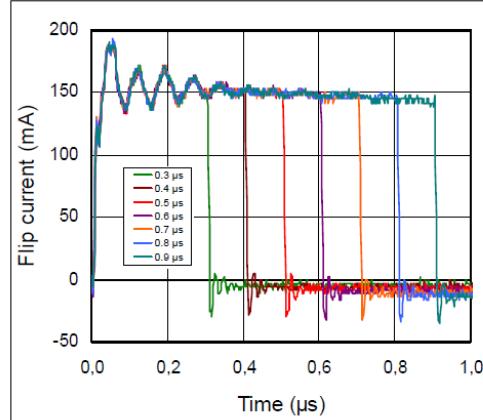


Fig. 6: Typically used flip pulses at different pulse durations (measured with Tektronix CT-1 Current Transducer).

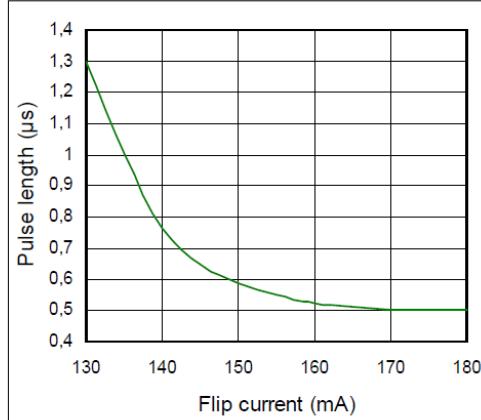


Fig. 7: Flip pulse length vs. flip current magnitude to achieve maximum resolution (see Fig. 10).

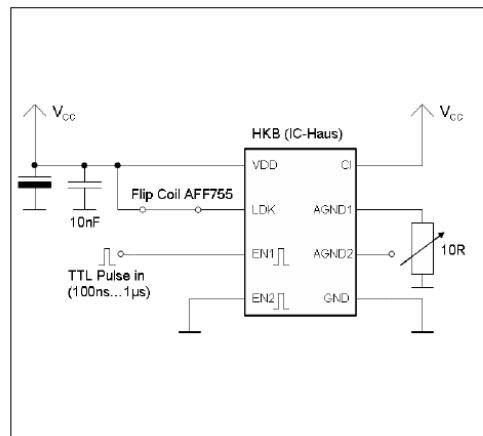


Fig. 8: Used laser diode driver circuit for generating short flip current pulses.

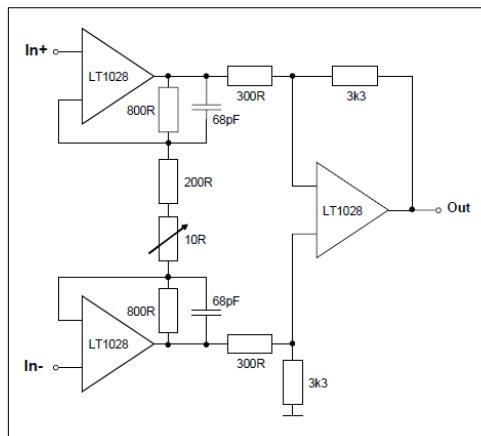


Fig. 9: Used instrumentation amplifier (Gain 100) for pre-amplifying sensor output signals.

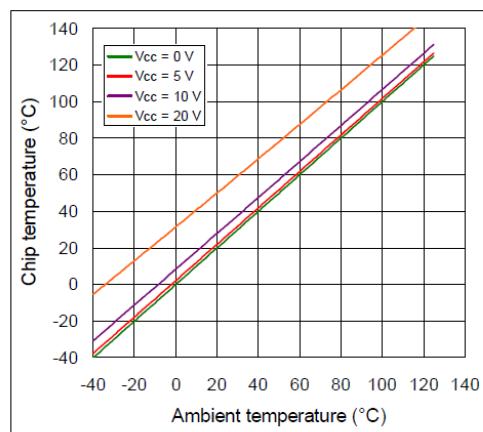
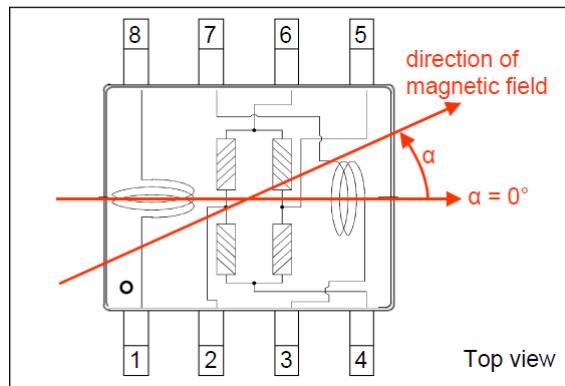


Fig. 10: Chip temperature vs. ambient temperature at different supply voltages.

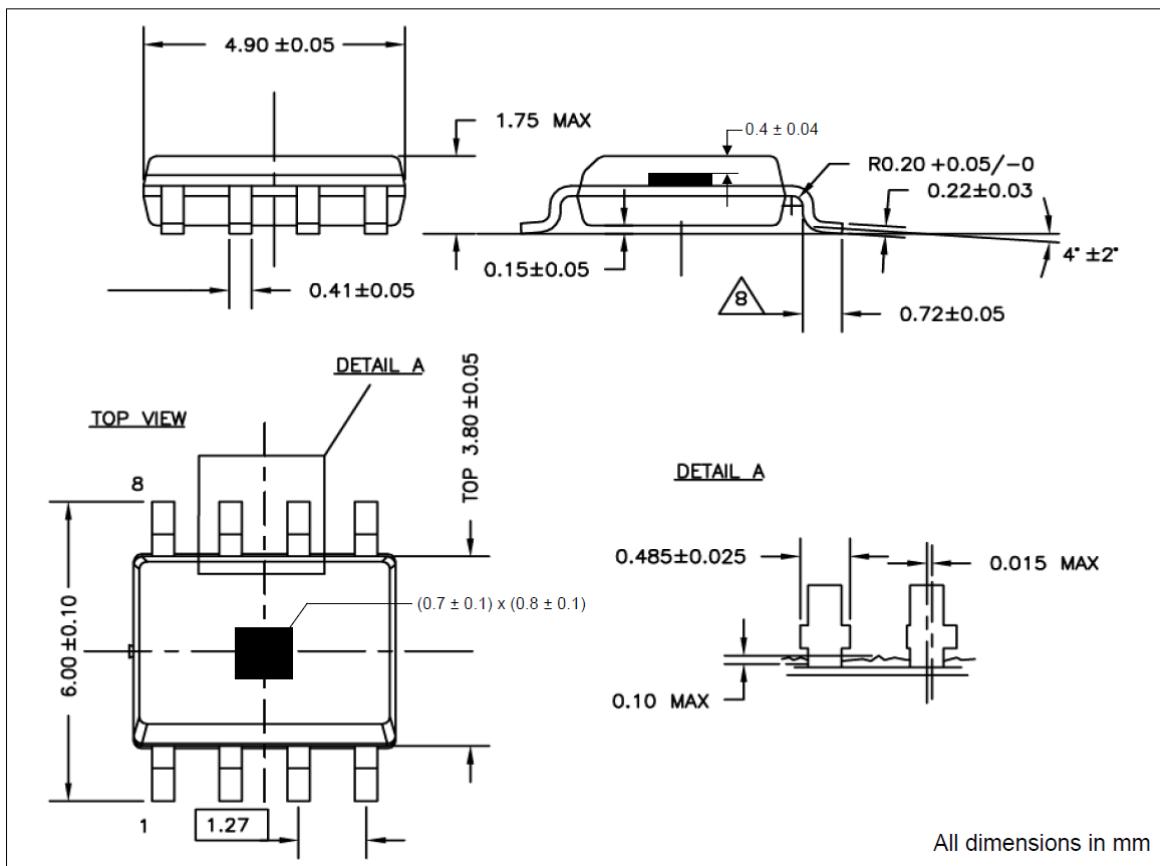
AFF755B
MagnetoResistive Field Sensor
AFF755B in SO8-housing
Pinning

Pin	Symbol	Parameter
1	$+I_F$	Flip coil
2	$-V_{out}$	Negative output voltage
3	I_{test}	Test connector
4	GND	Ground
5	$+V_{out}$	Positive output voltage
6	V_{CC}	Supply voltage
7	I_{test}	Test connector
8	$-I_F$	Flip coil

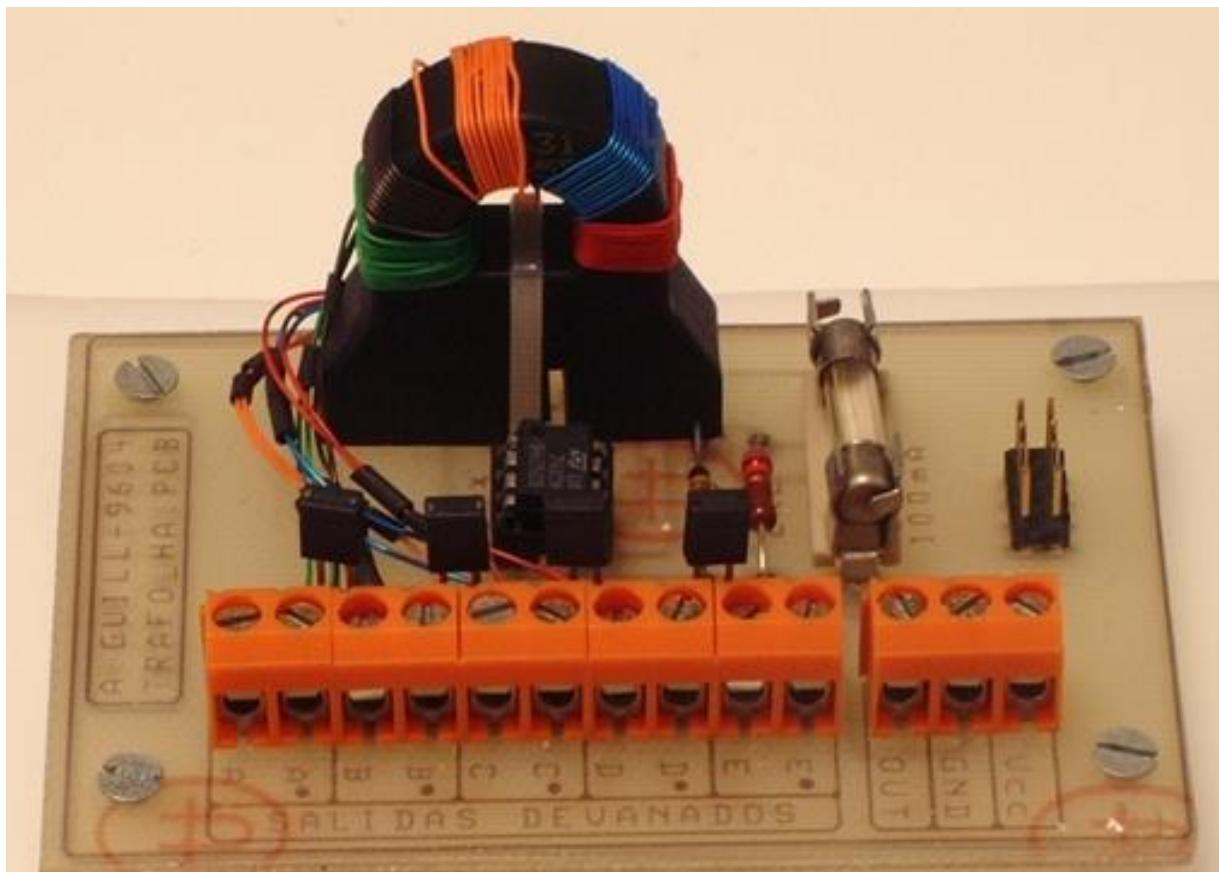


Pin 1 is marked by a point on housing.

Fig. 11: AFF755B shown with magnetic field direction.

Dimensions


Medida de Corriente: Amperímetro con Sensor Hall



Departamento de Ingeniería Electrónica - ETSIT - Universitat Politècnica de València

AMPERÍMETRO CON SENSOR HALL

1.- INTRODUCCIÓN.

2.- MATERIAL UTILIZADO.

3.- CIRCUITO PROPUESTO.

4.- DESARROLLO TEÓRICO.

5.- DESARROLLO PRÁCTICO.

5.1.- CARACTERIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR.

5.2.- DISEÑO DEL ACONDICIONADOR.

5.3.- EJEMPLO DE APLICACIÓN.

6.- ESPECIFICACIONES.

1.- INTRODUCCIÓN.

Los dispositivos basados en el efecto HALL son utilizados en múltiples aplicaciones, una de ellas es la medida de intensidad de corriente. Para ello, miden la inducción magnética generada por la corriente a medir. Una característica muy importante es que no es necesaria una conexión directa con el circuito donde se va a medir. Este tipo de sensor presenta la ventaja de medir tanto intensidades continuas como alternas.

El objetivo de la práctica es familiarizarse con la utilización de un "Transformador de Corriente" basado en un sensor de efecto Hall. La práctica consistirá, en primer lugar, en la caracterización del transductor utilizado, y posteriormente en su aplicación práctica mediante el diseño de un amperímetro. Finalmente se propone otra aplicación práctica para visualizar en el osciloscopio la corriente de carga y descarga de un condensador.

2.- MATERIAL UTILIZADO.

Se adjunta una detallada información sobre las características del :

- Transductor Hall.
- Circuito integrado LM741
- Circuito integrado LM555

2.1.- Transformador de corriente 91SS12-2 (LOHET I).

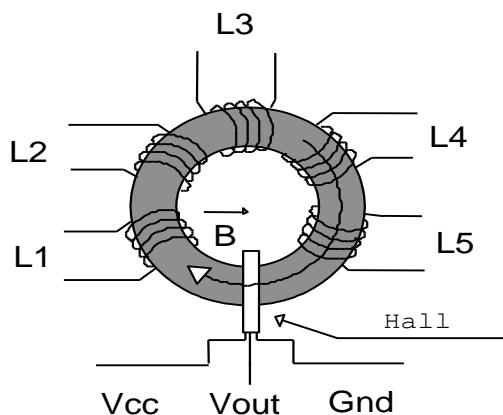


Figura 10. Sensor de corriente con 5 bobinados de 10 espiras.

Cuando una corriente atraviesa un conductor, se genera a su alrededor un campo magnético proporcional a la intensidad de dicha corriente. Para concentrar este campo en el elemento sensor, se utiliza un núcleo toroidal de material ferromagnético (ver fig.1).

Se han incorporado 5 bobinados iguales con 10 vueltas cada una, con el fin de aumentar la sensibilidad en la medición, debido a que no se dispone de fuente de alta corriente. La corriente medida por el transductor será:

$$\text{Intensidad medida} = N * I$$

donde I es la corriente a medir y N el número de espiras seleccionado.

3.- CIRCUITO PROPUESTO.

En el plano adjunto se dispone de los circuitos propuestos para la práctica. Un circuito corresponde al amplificador a incorporar en el diseño del amperímetro (Fig.1), y el otro circuito corresponde a la aplicación (Fig.2), consistente en un circuito que provoca la carga y descarga de un condensador, cuya corriente de carga y descarga se medirá con el amperímetro diseñado. No se han añadido las tensiones de alimentación de los A.O.: la tensión de alimentación deberá ser de $\pm 15V$, y deberá filtrarse cada alimentación respecto a masa, con un condensador electrolítico de $100\mu F$ y uno plástico de $220nF$.

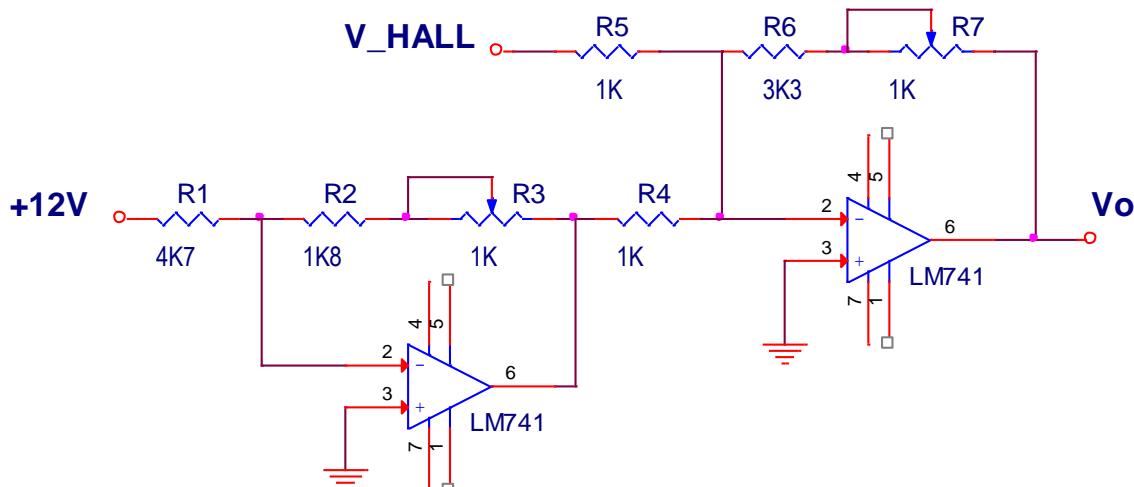


Figura 11. Acondicionador para diseñar el amperímetro con el sensor Hall.

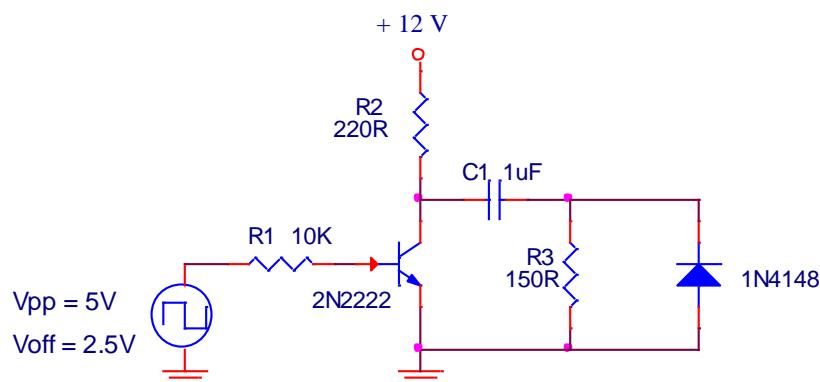


Figura 12. Circuito que provoca la carga/descarga de un condensador (C_1).

4.- DESARROLLO TEÓRICO.

Se pretende diseñar un amperímetro. Para ello, se caracterizará la respuesta del sensor y después se diseñará un amplificador con objeto de adaptar la salida del transductor y obtener la sensibilidad deseada. Se visualizará la tensión de salida de acondicionador en un multímetro. El diagrama de bloques final se detalla en la Fig. 3.

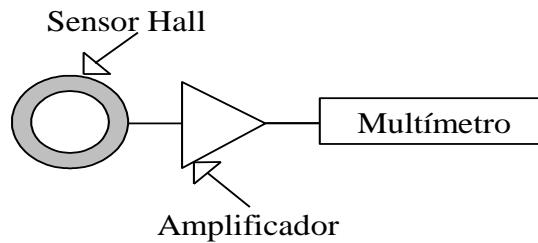


Figura 13. Diagrama de bloques del circuito final.

1.- Determinar la anchura en milímetros del entrehierro del núcleo toroidal ferromagnético utilizado como colector de flujo magnético (CSLA1CD).

$$e = 1.9 \text{ mm}$$

2.- Determinar la inducción magnética en el entrehierro en función de la corriente y el número de espiras. Determinar el flujo magnético utilizando los conceptos de f.m.m. (fuerza magnetomotriz) y de reluctancia. Hacer las aproximaciones que considere oportunas para obtener una expresión lineal entre inducción magnética y corriente.

$$\Phi = \frac{F_{magnetomotriz}}{\text{Reluctancia}} = \frac{fm}{R} = \frac{N \cdot I}{R_e + R_N} = \frac{N}{\frac{e}{\mu_0} + \frac{l}{\mu S}}$$

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Se desprecia } \frac{l}{\mu}, \text{ entonces:} \quad B = \frac{\mu_o \cdot N \cdot I}{e}$$

3.- Dar la expresión de la tensión de salida del sensor en función de los parámetros eléctricos y mecánicos suministrados por el fabricante.

$$V_{out} = V_{off} \pm \frac{(0.00364 \cdot N \cdot I)}{l} \cdot \frac{V_{cc}}{12} \cdot K$$

4.- Determinar la sensibilidad en mV/mT dada por el fabricante.

$$\text{Sensibilidad} = 75 + 2 \text{ mV/mT}$$

5.- Para la tensión de alimentación recomendada por el fabricante, analizar la concordancia entre la sensibilidad dada por el fabricante y la calculada según las expresiones de la cuestión 2 y 3.

$$S = \frac{v_{out}}{B} = \frac{v_{offset} + \frac{0.00364 \cdot N \cdot I}{I_g} \cdot \frac{v_{cc}}{12} \cdot k}{\frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{e}}$$

Si $V_{cc} = 12V$, $V_{offset} = 6V$ y $k = 1$:

$$S = \frac{6 + \frac{0.00364 \cdot N \cdot I}{e}}{\frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{e}}$$

6.- Determinar de forma aproximada la frecuencia máxima de funcionamiento del sensor, partiendo del tiempo de respuesta suministrado por el fabricante.

Si el tiempo de respuesta es 3 us, la frecuencia máxima vendrá definida:

$$F_{max} = 0.3/33\text{us} = 9.09 \text{ KHz}$$

7.- Suponiendo que la sensibilidad nominal se da a 25°C , determinar sensibilidad mínima que podría obtenerse en el margen de temperatura de -40°C a $+150^{\circ}\text{C}$.

La diferencia de temperatura ΔT viene dada: $\Delta T = 150 - 25 = 125^{\circ}\text{C}$, mientras que la sensibilidad disminuye con una razón de $0,077\% \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} * 125^{\circ}\text{C} = -9,625\%$

La sensibilidad mínima se obtiene de la siguiente manera:

$$S_{min} = S_{nom} - 0,09625 * S_{nom} = 67,781 \frac{mV}{mT}$$

8.- Determinar el máximo error que puede obtenerse debido a la no linealidad (darlo directamente en tensión de salida del transductor, en mV).

Teniendo en cuenta que la respuesta del sensor es la especificada en la Figura 14:

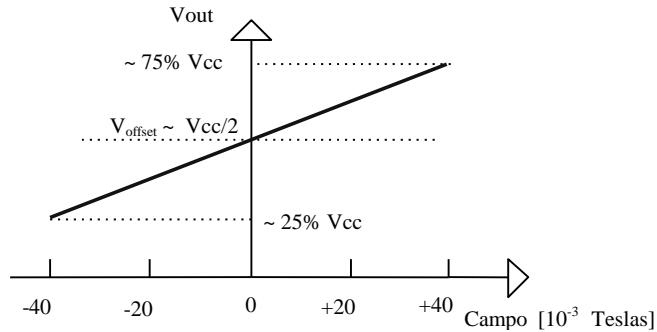


Figura 14. Tensión de salida en el sensor de corriente 91SS12.

De la figura 4 se sabe que el 75% de los 12 V de alimentación son 9V y que el 25% son 3 V. La resta de ambos valores corresponde a un span de 6 V. Si el error de linealidad es de 1.5%, el máximo error debido a la no linealidad corresponde a 90 mV.

9.- Explicar el funcionamiento del circuito amplificador.

Con R1, R2 y R3 se crea un offset (primera etapa) y con R4, R5, R6 y R7 se compara el offset y se ajusta la ganancia (segunda etapa).

10.- Obtener la expresión que relaciona la tensión de salida del amplificador (Vout) y la salida del transductor (Sensor I).

Etapa 1:

$$V_p = V_{i_1}$$

$$\frac{12V - V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_{o_1}}{(R_2 + R_3)} \rightarrow \frac{(R_2 + R_3)}{R_1} (12V - V_i) = (V_i - V_{o_1}) \rightarrow \frac{(R_2 + R_3)}{R_1} 12V = -V_{o_1}$$

Etapa 2:

$$\begin{aligned}
 V_{o_1} &= -\frac{(R_2 + R_3)}{R_1} 12V \\
 V_{o_2} &= V_{Hall} \\
 V_{out_total} &= (V_{o_1} + V_{o_2})G \\
 \frac{V_{Hall}}{R_S} + \frac{V_{o_1}}{R_4} &= \frac{V_{out_total}}{R_6 + R_7} \\
 (R_6 + R_7) \left(\frac{V_{Hall}}{R_S} + \frac{V_{o_1}}{R_4} \right) &= V_{out}
 \end{aligned}$$

11.- ¿Qué efectos produce una variación de Vcc ? Proponga posibles soluciones.

Si variamos Vcc, en la primera etapa cambiaríamos el offset modificando la sensibilidad por lo que habría que regularlo/calibrarlo cambiando el valor de R3.

12.- ¿Cómo se elimina la tensión de offset? ¿Se anula definitivamente?

La tensión de offset se regula modificando R3 no siendo ideal ya que es imposible anularlo.

13.- Para el circuito de la figura 5, determinar y representar gráficamente la corriente y la tensión en bornes del condensador C1, suponiendo una señal de excitación V1 cuadrada y de frecuencia 250Hz.

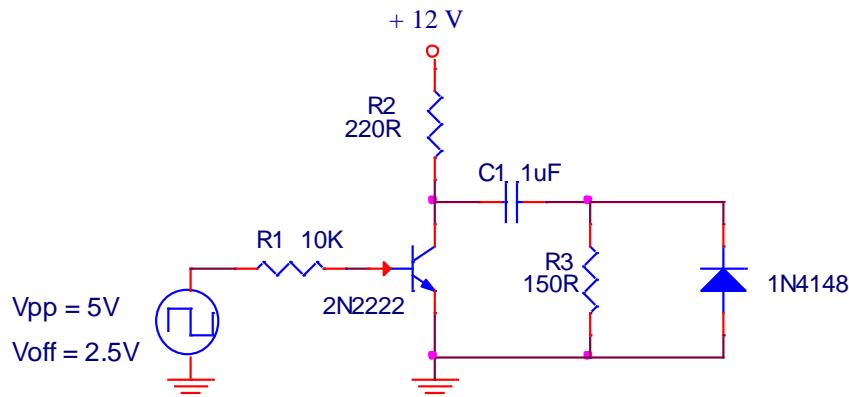


Figura 15. Circuito para la carga/descarga de un condensador (C1).

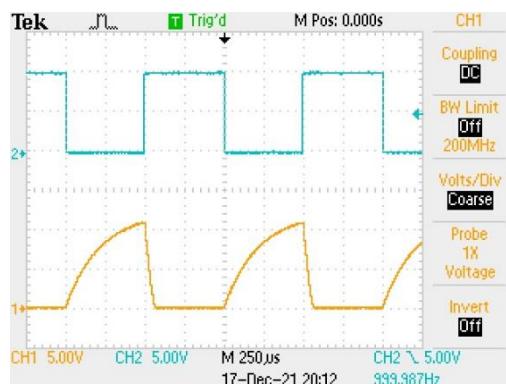


Figura 16. Tensión y corriente en los bornes del condensador

14.- Para el circuito de la figura 15, ¿cómo mediría la tensión en bornes del condensador C1 en el osciloscopio?

En primer lugar, colocamos la sonda en cada borne de C1 con las masas conectadas a la masa del circuito. A continuación, se visualizan ambos canales en el osciloscopio, restando con la operación “resta” del menú “Math” el Canal C2 – Canal C1.

Nota: recuerde que las masas de las sondas del osciloscopio deben estar conectadas a la masa del circuito.

5.- DESARROLLO PRÁCTICO.

El transductor de efecto Hall se alimentará a 12 V. Con este fin, se utilizará el regulador de tensión LM7812, según el esquema de la figura 17.

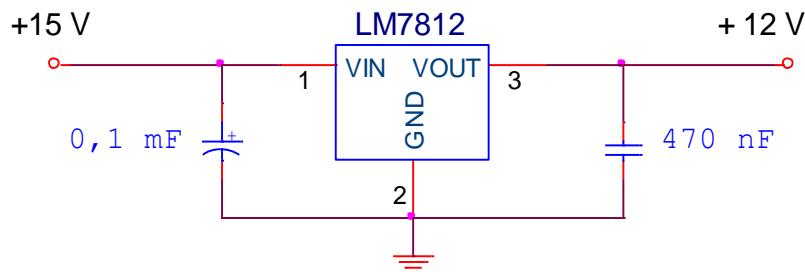


Figura 17. Circuito regulador de tensión a 12V.

5.1.- CARACTERIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR.

Se desea obtener la característica V-I del sensor, para lo cual se tomará una fuente de alimentación de continua con limitación de corriente, conectándose en serie un amperímetro, y se conectarán a los devanados del transductor (EN NINGÚN CASO LA CORRIENTE DEBE SER SUPERIOR A 2.5 A). La corriente aplicada y la tensión de salida se medirán con un multímetro digital.

1.- Seleccionando la corriente continua indicada y utilizando los diferentes devanados, obténganse las siguientes medidas:

I (real)	Nº espiras	I (aparente)	V out
0 A	0	0 A	6V
1 A	10	10 A	6,74V
1 A	20	20 A	7,28V
1 A	30	30 A	7,81V
1 A	40	40 A	8,33V
1 A	50	50 A	8,82V
1.2 A	50	60 A	9,25V
1.5 A	50	75 A	9,85V

Cada vez que cambie de conexión de los devanados, debe disminuir la corriente por el transductor con el fin de evitar variaciones altas de tensión. Los anteriores valores deben realizarse para intensidades negativas y positivas (cambiando el sentido de circulación de la corriente por las espiras).

I (real)	Nº espiras	I (aparente)	V out
0 A	0	0 A	6,19V
- 1 A	10	10 A	5,65V
- 1 A	20	20 A	5,1V
- 1 A	30	30 A	4,57V
- 1 A	40	40 A	4,05V
- 1 A	50	50 A	3,55V
- 1.2 A	50	60 A	3,07V
- 1.5 A	50	75 A	2,4V

- 2.- Dibuje la gráfica que relaciona corriente aparente y tensión de salida del transductor y comente los resultados obtenidos.

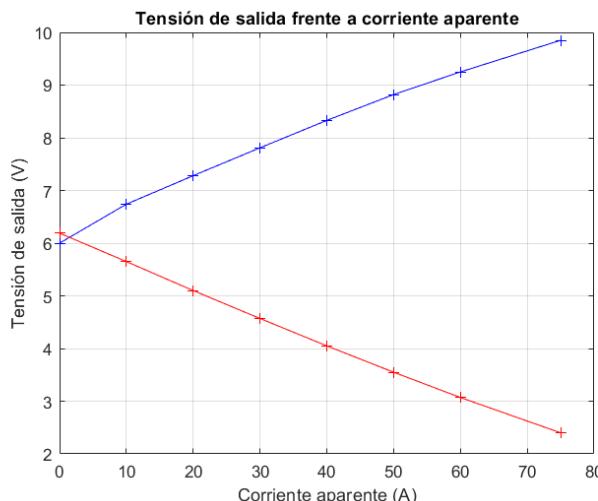


Figura 18. Tensión de salida del transductor frente a la corriente aparente

5.2.- DISEÑO DEL ACONDICIONADOR.

Se pretende diseñar un amperímetro para medir en el rango de 1A (1A a F.E.) y con una sensibilidad de 10V/1A. Debemos procurar que el sensor Hall trabaje en todo su margen dinámico. Según especificaciones, el fondo de escala corresponde a una corriente de 57A, de modo que para el diseño de un amperímetro de rango hasta 1A podemos utilizar las 50 espiras, correspondiendo 1A real a 50A aparentes (de modo que el flujo magnético generado será el correspondiente a 50A, utilizando la práctica totalidad del rango dinámico del sensor Hall).

<u>I(real)</u>	<u>nº espiras</u>	<u>I(aparente)</u>	<u>Lectura</u>
1 A	50	50 A	10 V

1.- Determinar el valor de las resistencias del circuito propuesto.

$$\begin{array}{llll} R_1 = 4,7K & R_3 = 1K & R_5 = 1K & R_7 = 1K \\ R_2 = 1,8K & R_4 = 1K & R_6 = 3,3K & \end{array}$$

2 . - Montar el circuito propuesto y llenar la tabla de medida de intensidad.

Intensidad	I medida (mA)	Intensidad	I medida (mA)
-1000 mA	-1001	0 mA	1,8
-900 mA	-910	100 mA	106
-800 mA	-816	200 mA	212
-700 mA	-719	300 mA	317
-600 mA	-618	400 mA	419
-500 mA	-530	500 mA	512
-400 mA	-402	600 mA	609
-300 mA	-316	700 mA	719
-200 mA	-206	800 mA	807
-100 mA	-111	900 mA	910
0 mA	2,4	1000 mA	1004

Nota: tenga en cuenta que, debido a la remanencia magnética del núcleo toroidal ferromagnético, la tensión de salida del sensor presentará un offset que dependerá del proceso de imanación seguido por el núcleo, es decir, presentará una histéresis debida a la propia histéresis del núcleo. Por tanto, para realizar las tablas de caracterización del amperímetro, se excitará con la corriente de fondo de escala, y a continuación se volverá al cero, ajustando tanto el cero como la sensibilidad del circuito. Se repetirá este proceso al invertir el sentido de la corriente.

- 3.- Representar gráficamente las medidas realizadas. Determinar la linealidad del amperímetro diseñado y contrastar el resultado obtenido con el valor de linealidad dada por el fabricante.

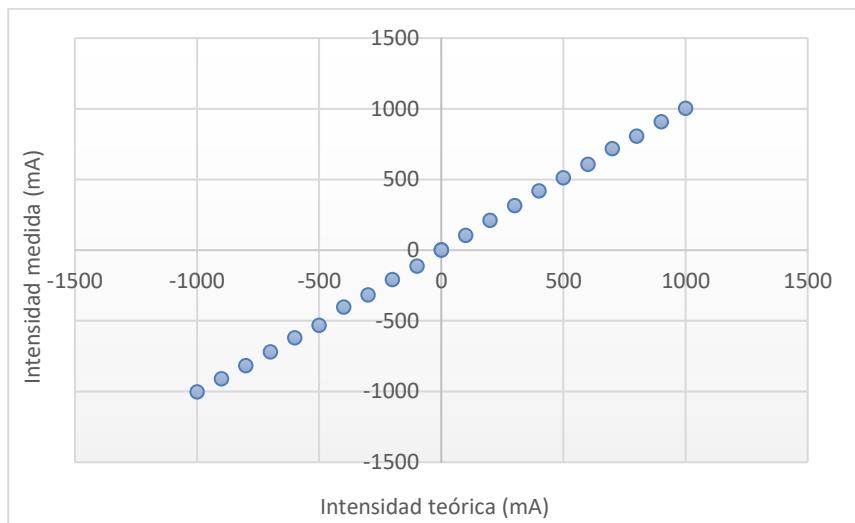


Figura 19. Relación de la intensidad medida con la teórica

Al haber una linealidad especificada por el fabricante de $\pm 1.5\%$ del span siendo este de 2 A, se traduce a $\pm 0.03\text{ mA}$.

5.3.- MEDIDA DE UN TRANSITORIO DE CORRIENTE: CORRIENTE DE CARGA-DESCARGA DE UN CONDENSADOR.

Se pretende visualizar en el osciloscopio, la tensión y corriente de un condensador sometido a un proceso de carga y descarga. Se utilizará el circuito propuesto (esquemático del apartado 3). La tensión y corriente a medir será la presente en el condensador C1.

- Dibuje gráficamente la tensión e intensidad en bornes del condensador C1, y calcule analíticamente el tiempo de carga y descarga del mismo.

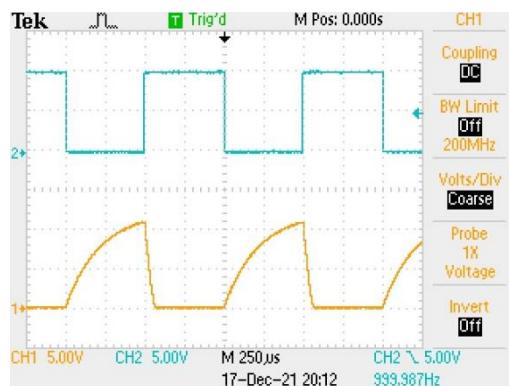


Figura 20. Tensión e intensidad en bornes del condensador C1

- Se pretende medir la tensión y la intensidad a través del condensador C1. Realizar la conexión necesaria utilizando el medidor de corriente diseñado para poder visualizar la intensidad en el osciloscopio. Utilizar el número de espiras que proporcione la salida óptima para su medida. De la señal visualizada represente gráficamente los siguientes datos:

3.1.- Formas de onda de la intensidad y la tensión en el condensador C1.

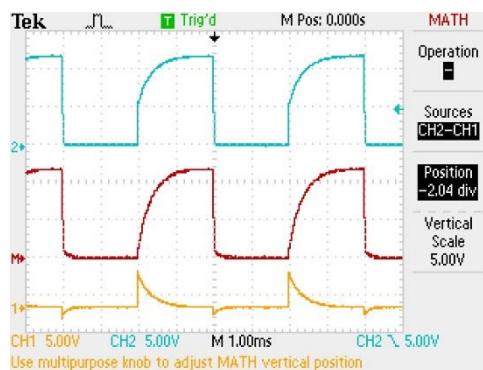


Figura 21. Formas de onda del condensador C1

3.2.- Formas de onda de la intensidad y la tensión en la resistencia R3.

3.- ¿Por qué los picos de carga y descarga del condensador no son del mismo nivel? ¿Qué elemento contribuye a ello y cómo?

Cuando el BJT comienza a conducir, el condensador empieza a descargarse ya que el diodo lo cortocircuita a masa. El hecho de que el transistor conduzca supone que el condensador no recibe carga de la fuente.

La resistencia R6 ayuda a que la descarga sea más rápida que la carga ya que este elemento disipa.

6.- ESPECIFICACIONES.

A continuación, se dispone de las especificaciones correspondientes a los siguientes componentes o material utilizado:

- Sensor de Corriente CSLA1CD con sensor Hall 91SS12-2.
- Circuitos Integrados: LM741, LM555, LM7812.



CSLA1CD

CSLA Series linear current sensor, 57 A sensed current, source output, through-hole, operates on AC or DC current, bottom mount

Features

- Linear output
- AC or DC current sensing
- Through-hole design
- Fast response time
- Output voltage isolation from input
- Minimum energy dissipation
- Maximum current limited only by conductor size
- Adjustable performance and built-in temperature compensation assures reliable operation
- Accurate, low cost sensing
- Operating temperature range -25 °C to 85 °C
- Housing: PBT polyester

Product Specifications

Sensor Type	Open Loop Linear
Sensed Current Type	ac or dc
Sensed Current Range	0 A to 57 A
Package Style	PCB Bottom Mount
Output Type	Voltage
Sensitivity	$49.6 \pm 5.8 \text{ mV}\cdot\text{N/A} @ 12 \text{ Vdc}$
Supply Current	19 mA max.
Offset Voltage	$\text{Vcc}/2 \pm 10 \%$
Supply Voltage	8.0 Vdc to 16.0 Vdc
Offset Shift (%/ °C)	± 0.05
Response Time	3 µs
Operating Temperature Range	-25 °C to 85 °C
Storage Temperature Range	-40 °C to 100°C

Nota: en la sensibilidad, N indica el número de vueltas (nº de espiras enrolladas en el núcleo toroidal).

Current transducers

These current transducers monitor either alternating or direct current and produce an analogue output signal proportional to the current flow. As the linear signal duplicates the waveform of the current being sensed, it is ideal for use as a feedback element to control a motor or regulate the amount of work being done by a machine. These transducers utilise a through hole design, ensuring that there will be no dc insertion loss in the conductor. In addition, the through-hole design simplifies installation by eliminating the need for direct connection, thus minimising energy dissipation and providing output isolation at no extra cost. These transducers cannot be damaged by over current. All the above transducers incorporate the LOHET I linear output Hall effect device centred in the gap of the flux collector and assembled in a pcb mountable housing available in bottom mount or side mount configurations.

When sensing zero current, the output voltage of the transducer will be equal to half the supply voltage. If current flows in either direction, in one direction the output voltage will increase from its offset value whilst current flow in the opposite direction will cause the output voltage to decrease from its offset value. The output voltage range is from 25% to 75% of the supply voltage, and can be calculated using the following formula (up to the rated maximum current of the transducer).

$$V_{\text{output}} = V_{\text{offset}} \pm \frac{(0.00364NI)}{Ig} \times \frac{V_{\text{CC}}}{12} \times K$$

where:

V_{offset} = The output voltage at zero current (usually $V_{\text{CC}}/2 \pm 10\%$)

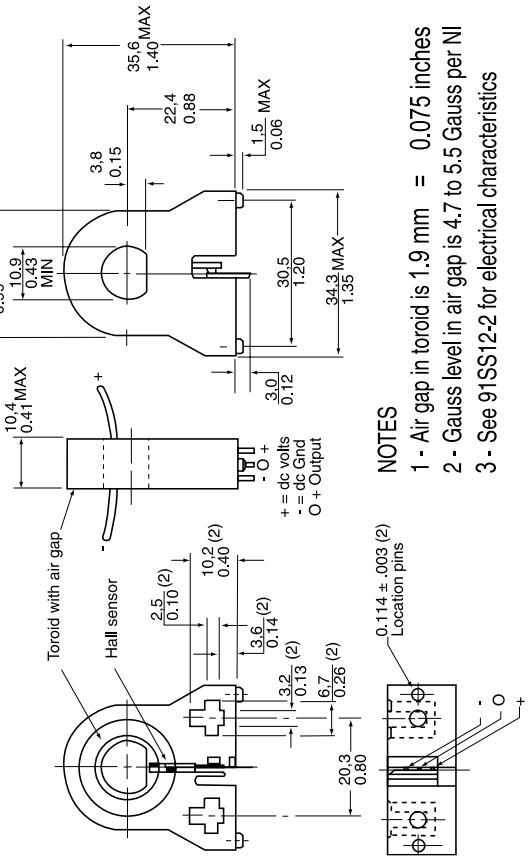
N = No. of turns of the current carrying conductor passing through the centre of the flux collector

I = Magnitude of current in the current carrying conductor (in Amperes)

Ig = The gap cut in the flux collector (in inches)

V_{CC} = Supply voltage

K = A constant dependent on V_{CC} (1.0 @ 12Vdc)



NOTES

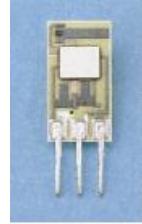
1 - Air gap in toroid is 1.9 mm = 0.075 inches

2 - Gauss level in air gap is 4.7 to 5.5 Gauss per NI

3 - See 91SS12-2 for electrical characteristics

91SS12-2

91SS Series Hall-Effect Linear Position Sensor; PC board mount

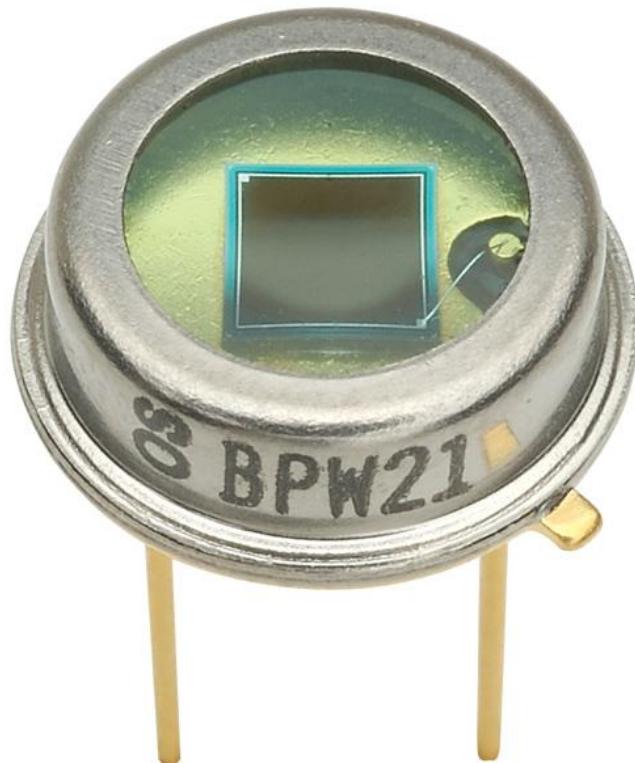


Product Specifications	
Product Type	Hall-Effect Linear Position Sensor
Package Style	Ceramic SIP
Supply Voltage	8.0 Vdc to 16.0 Vdc
Output Type	Source
Termination Type	PC Board
Magnetic Actuation Type	Ratiometric Linear
Operating Temperature Range	-40 °C to 150 °C [-40 °F to 302 °F]
Availability	Global
Supply Current (max. @ 25 °C)	19 mA
Output Current (max.)	10 mA
Sensitivity @ 25 °C	7.5 ± 0.2 mV/G at 12 Vdc supply
Magnetic Range (min.)	-40 mT to 40 mT [-400 G to 400 G]
Output Voltage Span (typ.)	6.00 Vdc @ 12 Vdc
Null (Output @ 0 G)	6.00 Vdc ± 0.6 Vdc @ 12 Vdc
Null (Offset @ 0 G)	6.0 Vdc (-40 mT to 40 mT [-400 G to 400 G] typ.) @ 25 °C
Series Name	91SS Series

Magnetic Characteristics

Span ¹ (-40 to +40 mT)	6,0V
Null ¹ (Offset at 0 mT)	6,0 ± 0,6V
Sensitivity ¹ (mV/mT)	75 ± 2
Linearity ¹ (% span)	± 1,5
Temperature Error (all %s reference the 25°C value)	
Null Shift (max. %)	-40° to +150°C ± 5
	-25° to +85°C ± 3
	0° to +50°C ± 2
Typical Sensitivity (%/°C)	-40° to 0°C (-0,034) 0° to +150°C (-0,077)

Sensor Óptico: fotodiodo PIN BPW21



Departamento de Ingeniería Electrónica - ETSIT - Universitat Politècnica de València

SENSOR ÓPTICO: FOTODIODO PIN BPW21

- 1.- INTRODUCCIÓN.
- 2.- MATERIAL UTILIZADO.
- 3.- CIRCUITO PROPUESTO.
- 4.- DESARROLLO TEÓRICO.
- 5.- DESARROLLO PRÁCTICO.
- 6.- ESPECIFICACIONES.

6.- INTRODUCCIÓN.

En esta práctica se va a trabajar con un fotodiodo (BPW21) que responde básicamente al espectro visible. Se realizará un acondicionador de señal mediante un amplificador de transimpedancia y se analizará la respuesta del conjunto fotodiodo-amplificador en función de los componentes del circuito. Se obtendrán las curvas características del fotodiodo V_D - I_D .

Introducción teórica a desarrollar por el alumno:

- 1.-**Introducción al fotodiodo.
- 2.-**Características del fotodiodo.
- 3.-**Circuitos acondicionadores de señal para fotodiodo.
- 4.-**Diseño del circuito acondicionador.
- 5.-**Consideraciones en la elección de componentes para mejorar la relación señal/ruido.
- 6.-**Corrientes de offset y de polarización del A.O. en el amplificador de transimpedancia.

7.- MATERIAL UTILIZADO.

- Fotodiodo PIN BPW21.
- Amplificador Operacional TL081.
- Transistor bipolar BC547.
- LED:verde L53GD.

8.- CIRCUITO PROPUESTO.

Los circuitos a diseñar, montar y medir en esta práctica son los siguientes:

- 1.- El circuito de la fig.22 se utilizará para generar una señal de iluminación cuadrada utilizando el LED verde y con diferentes niveles de luminancia cambiando la tensión de alimentación V_{CC} y, por tanto, la corriente de excitación del LED.

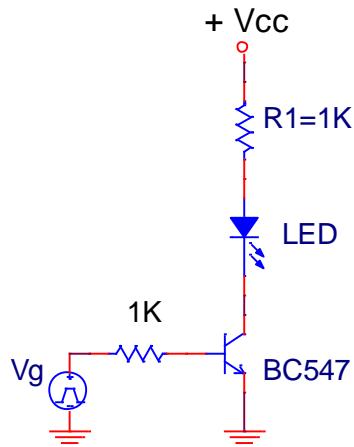


Figura 22: Circuito para la generación de un flujo luminoso “periódico cuadrado”.

- 2.- En la fig.23 se muestra el circuito utilizado como acondicionador de señal para el fotodiodo PIN BPW21 polarizado en modo fotovoltaico con V_D = 0.

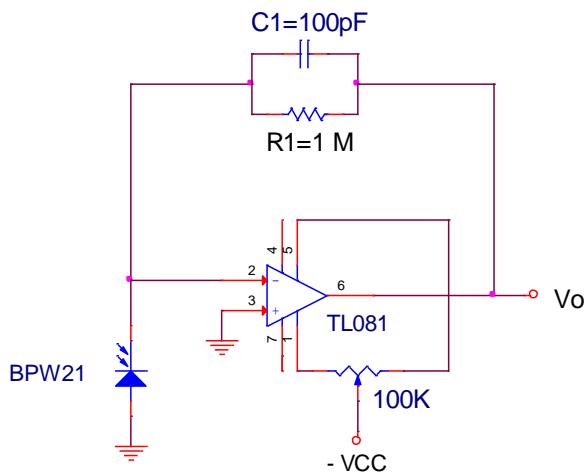


Figura 23: Amplificador de Transimpedancia: acondicionador de señal para el fotodiodo BPW21.

- 3.- En la fig.24 se muestra el circuito utilizado para medir la respuesta del fotodiodo con una resistencia de carga R_L .

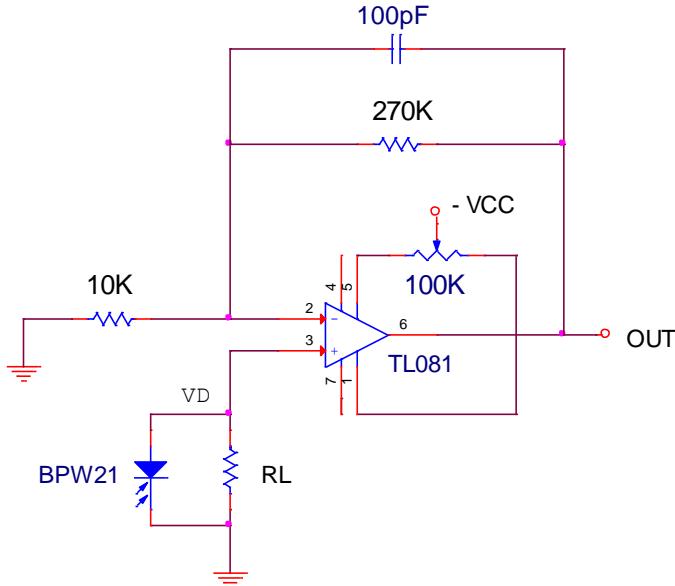


Figura 24: Circuito para medir la respuesta del fotodiodo con una resistencia de carga R_L .

9.- DESARROLLO TEÓRICO

- 15.- Analizar las especificaciones del fotodiodo BPW21 y determinar los siguientes parámetros:

Sensibilidad;

$$S = 10 \text{nA/lx}$$

Longitud de onda de máxima sensibilidad;

$$\lambda_P = 550 \text{ nm}$$

Rango de ancho de banda;

$$\lambda_{0.1} = 350-820 \text{ nm}$$

Corriente inversa de oscuridad a 25°C;

$$I_{RO} = 2 \text{nA (5V)} \text{ o } 8 \text{ pA(10 mV)}$$

Tensión máxima en inversa:

$$V_{BR} = 10 \text{V}$$

Capacidad del fotodiodo a $V_R = 0 \text{ V}$;

$$C_D = 400 \text{ pF}$$

Capacidad del fotodiodo a $V_R = 5 \text{ V}$;

$$C_D = 300 \text{ pF}$$

Corriente de cortocircuito (Std. A, $T_K=2856 \text{ K}$, 1000 lux);

$$I_{SC} = 10 \mu\text{A}$$

Tensión en circuito abierto (Std. A, $T_K=2856 \text{ K}$, 1000 lux);

$$V_O = 400 (>= 320) \text{ mV}$$

Corriente de oscuridad para $V_R = 5 \text{ V}$;

$$I_R = 2 (<= 30) \text{nA}$$

Corriente de oscuridad para $V_R = 10 \text{ mV}$;

$$I_R = 8 (<= 200) \text{ pA}$$

16.- Analizar las especificaciones de los LEDs y determinar los siguientes parámetros:

	ROJO L-53ID	VERDE L-53GD	AMARILLO L-53YD	NARANJA L-53ND
Intensidad luminosa a 20mA : I_V	56.25	44	110	75
Longitud de onda: λ_P	627 nm	565 nm	590 nm	607 nm
Anchura del espectro: $\Delta\lambda_{1/2}$	45 nm	30 nm	35 nm	45 nm
Capacidad: C	15 pF	15 pF	20 pF	15 pF
Tensión de directa (20mA): V_F	2 V	2 V	2.1 V	2 V

17.- Para el circuito de la fig.1 determinar el valor de V_{CC} para las siguientes corrientes (considerar $V_{CE-SAT} = 0.1V$, $V_F = 2V$):

$$I_C = \frac{V_{cc} - V_F - V_{ce-SAT}}{R_1} \rightarrow V_{cc} = I_C R_1 + V_F + V_{ce-SAT}$$

	5mA	10mA	15mA	20mA	25mA
V_{CC} (V)	7.1	12.1	17.1	22.1	27.1

18.- Para el LED verde determinar la relación entre corriente (I_F) e intensidad luminosa relativa a $I_F=20mA$. ¿Cuál es la intensidad luminosa a $I_F=20mA$ en candelas (Cd)?

De la gráfica de especificaciones del LED verde se saca una relación de 2.2 para $I_F=10mA$, por lo tanto, la intensidad luminosa en candelas es 0.044 Cd.

19.- Determinar la tensión de salida del amplificador de transimpedancia de la fig.2, V_{OUT} , en función de la fotocorriente del fotodiodo (sin considerar la capacidad $C1$).

$$I_d = \frac{0 - V_o}{R_1} \rightarrow V_o = -I_d R_1$$

20.- Explicar para qué sirve la capacidad $C1$ en la realimentación del A.O. y por qué es necesaria.

Con la capacidad se eliminan los transitorios de los pulsos cuadrados de tensión, esencialmente en las conmutaciones de nivel bajo a alto.

21.- Dar la expresión del ruido térmico, V_{TH} , en la resistencia de realimentación $R1$.

$$V_{TH} = \sqrt{4K * T * B * R1}$$

(si no se considera $C1$ en la función de transferencia de la densidad espectral de potencia de ruido)

22.- Determinar la expresión de la relación Señal/Ruido (considerando únicamente el ruido térmico de la resistencia de realimentación).

$$\frac{V_o}{V_{TH}} = \frac{I_L * R1}{\sqrt{4K * T * B * R1}}$$

23.- Para aumentar la relación Señal/Ruido ¿interesa un valor alto o bajo de R1?

Al estar R1 en el denominador en una raíz cuadrada y el numerador no, interesa que R1 sea grande.

24.- Dibuje el modelo equivalente del fotodiodo.

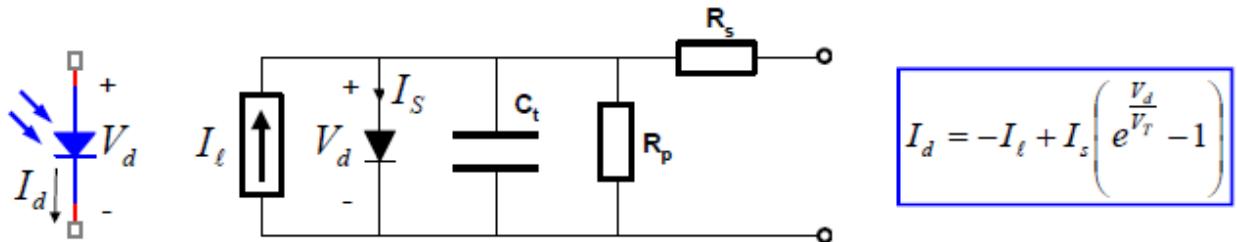


Figura 25. Modelo equivalente del fotodiodo

25.- ¿Qué efectos provoca la capacidad del fotodiodo?

Afecta al ancho de banda de la señal y del ruido.

26.- ¿Cómo puede disminuirse esta capacidad?

Disminuyendo el área del fotodiodo.

27.- ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene trabajar en modo fotovoltaico ($V_R = 0V$) y con polarización inversa ($V_R = -10V$)?

Polarizar el fotodiodo en inversa para una velocidad de respuesta mayor y mayor ancho de banda. La polarización inversa reduce la capacidad de la unión, CJ.

Para obtener mayor sensibilidad utilizar el fotodiodo en modo fotovoltaico. En modo fotovoltaico la corriente de oscuridad es nula, pero la velocidad de respuesta es menor, ya que la capacidad de la unión, CJ, es mayor.

28.- ¿Cómo afecta la corriente de polarización del A.O. (I_{BIAS})?

Se requiere un AO con baja corriente de polarización, I_b , para obtener mayor sensibilidad. La corriente de polarización origina error de offset.

29.- ¿Qué corriente de polarización tiene el TL081?

200pA como valor máximo y 20pA como valor típico.

10.- DESARROLLO PRÁCTICO.

NOTA: en todos los circuitos puede cambiarse el potenciómetro de ajuste de offset de 100k por uno de 50k (caso de no disponer del de 100k). También pueden montarse los circuitos sin el potenciómetro de ajuste de offset, ya que al excitar con una señal cuadrada puede medirse la variación de amplitud sin cometer error debido a la tensión de offset.

1.- Montar el circuito de la fig.23 con $C_1=10\text{pF}$. Visualizar la señal de salida en el osciloscopio (configurar el osciloscopio en modo AC y el *trigger* sincronizado con la red eléctrica). Determinar la frecuencia de la señal alterna que aparece a la salida y explicar cuál es su origen. Tapar total o parcialmente el fotodiodo y observar el efecto en la tensión de salida. Orientar el tubo de aluminio en dirección al fluorescente para obtener el máximo de amplitud y medir la amplitud y frecuencia.

$$V_{PP,max} = 400 \text{ mV}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

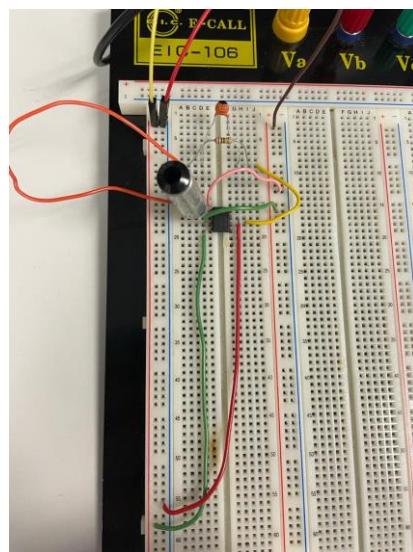


Figura 26. Montaje del circuito

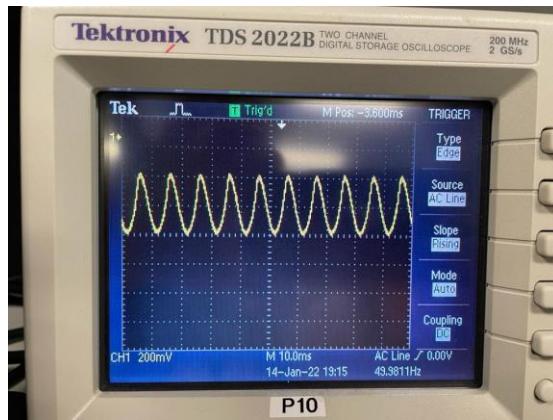


Figura 27. Señal de salida

2.- Montar el circuito de la fig.22 utilizando el LED verde. Acoplar el LED con el fotodiodo con un tubo de acoplamiento que impida que la luz ambiental excite el fotodiodo. Medir la tensión de salida (amplitud de la señal cuadrada) para cada valor de corriente (I_F) del LED emisor (variando V_{CC}) y determinar la corriente de iluminación (I_l). Para el circuito de la fig.22 utilizar el generador de funciones para excitar el transistor BJT con una señal cuadrada de $5V_{PP}$ y una tensión de offset de $2.5V$ y de $100Hz$ de frecuencia. Ajustar la corriente I_F del LED midiendo la caída de tensión en la resistencia $R_1=1K$ (para ello, excitar la base del transistor BC547 con una tensión continua, reduciendo la amplitud de la señal cuadrada al mínimo y manteniendo la tensión de offset de $2.5V$). Una vez ajustada la corriente I_F en el LED, volver a aplicar la tensión cuadrada de $5V_{PP}$ y medir la amplitud de la señal cuadrada de salida del circuito (V_{out}) de la fig.23 y determinar la corriente de iluminación como $I_l = V_{out}/1M\Omega$.

I_F	0 mA		5mA		10mA		15mA		20mA		25mA	
V_{CC}	0 V		7		12		17.1		22.2		27.3	
LED Verde	V_{OUT}	I_l										
	0	0	0.30	0.30	0.62	0.62	0.90	0.90	1.18	1.18	1.44	1.44
			V	u	V	u	V	u	V	u	V	u

- 3.- Representar gráficamente la relación entre corriente I_F y la corriente de iluminación I_L . Comentar los resultados al respecto de la linealidad de esta relación.

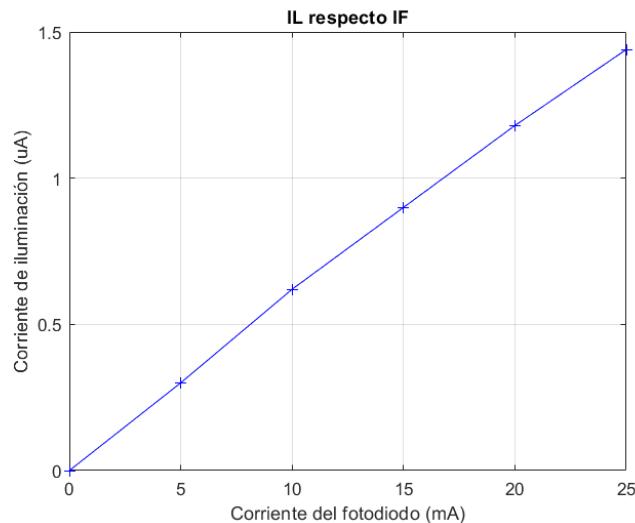


Figura 28. Relación entre IF y la corriente de iluminación IL

A simple vista se puede decir que la relación entre la corriente de iluminación y la corriente del fotodiodo es aproximadamente lineal.

- 4.- Manteniendo el montaje anterior (LED y fotodiodo acoplado ópticamente), con el LED verde e $I_F=20\text{mA}$ analizar la influencia del condensador de realimentación C_1 . Dibujar la tensión de salida para $C_1 = \{0, 5, 10, 47, 100\} \text{ pF}$ (prestando especial atención al transitorio inicial en la conmutación de nivel bajo a alto de la iluminación). Sacar conclusiones.

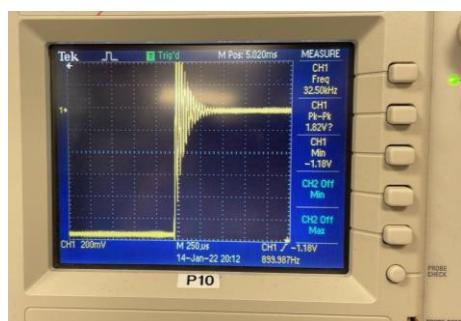


Figura 29: $C_1 = 0 \text{ pF}$

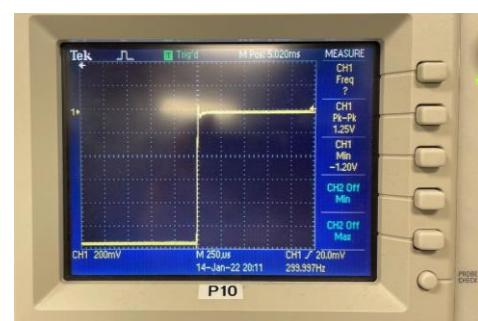
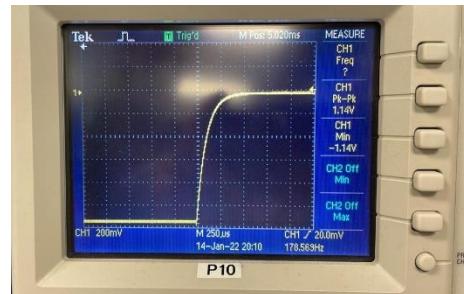
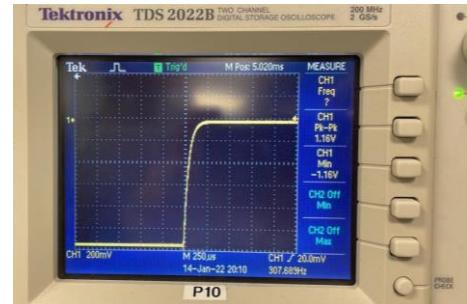
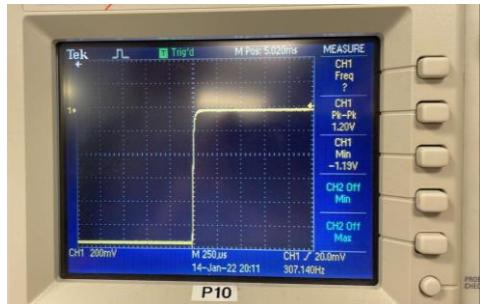


Figura 30: $C_1 = 5 \text{ pF}$



Con la capacidad se eliminan los transitorios de los pulsos cuadrados de tensión, esencialmente en las conmutaciones de nivel bajo a alto. Se puede ver como el valor de $C1$ afecta directamente en la salida. Para $C1 = 100 \text{ pF}$ se tiene la mejor respuesta y en cuanto se aleja de ese valor aparecen más oscilaciones.

- 5.- Montar el circuito de la fig.24. Determinar la tensión de salida en función de la tensión V_D en bornes del fotodiodo. ¿Qué ganancia G tiene el circuito respecto de la tensión en el fotodiodo?

$$V_o = V_D \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \rightarrow G = \frac{V_o}{V_D} = \left(1 + \frac{270}{10} \right) = 28$$

- 6.- Hacer las medias necesarias para llenar la siguiente tabla, determinando V_D como V_{OUT}/G , e I_D como V_D/RL .

I_F	5mA		10mA		15mA		20mA		25mA	
$RL / V_D (V)$, $I_D (\mu A)$	V_D	I_D								
$RL = 0$ [*]	0		0		0		0		0	
$RL = 47k$	0,014	30,4	0,03	63,8	0,044	94,2	0,057	121	0,071	151
$RL = 100k$	0,025	25,7	0,06	60	0,094	94,2	0,122	122	0,151	151
$RL = 220k$	0,062	28,2	0,128	58,4	0,197	89,6	0,26	118	0,308	140
$RL = 470k$	0,128	27,3	0,271	57,7	0,342	72,9	0,371	79	0,378	80,5
$RL = 1M$	0,248	24,8	0,342	34,2	0,364	36,4	0,375	37,5	0,385	38,5

[*] Valor de I_f obtenido en el apartado 5.2 con el circuito de la Fig.2 (modo fotovoltaico).

- 7.- De las tablas obtenidas en los apartados 5.2 y 5.6 dibujar las curvas de respuesta del fotodiodo (V_D , I_D) en el 4º cuadrante (modo fotovoltaico, con $V_D \geq 0$ e $I_D \leq 0$). Añadir a estas curvas la respuesta en el 3º cuadrante suponiendo I_f constante, con el valor obtenido en el apartado 5.2.

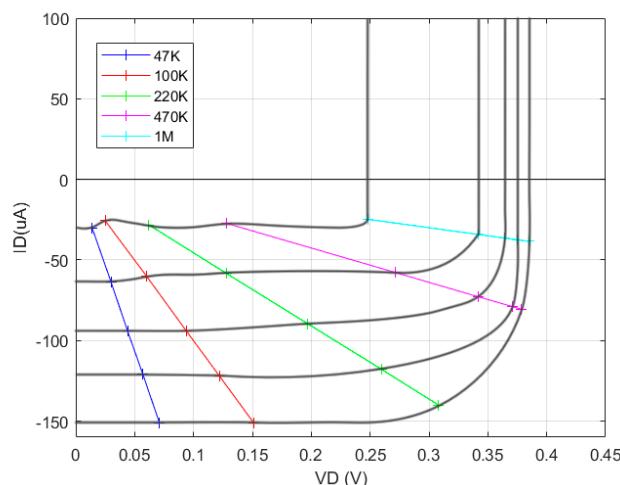


Figura 34. Curvas de respuesta del fotodiodo

- 8.- En las condiciones del apartado anterior, ¿Cuál es la potencia máxima que podría entregar el fotodiodo?

La potencia máxima que podría entregar el fotodiodo corresponde con el mayor resultado de multiplicar V_D e I_D para cada resistencia de carga y corriente del fotodiodo. En este caso sería para una RL de $220\text{ K}\Omega$ e $I_F = 25\text{ mA}$.

Prácticas Redes de sensores 1: COMUNICACIÓN SERIE: I2C, SPI.

Ejercicio 1.1 Modifique el programa inicial para que en lugar de escribir por el puerto serie “hello world” escriba su nombre y apellidos.

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA Y HACER UNA CAPTURA DE PANTALLA QUE INCLUYA EN LA MEMORIA.

```
#define F_CPU 16000000L

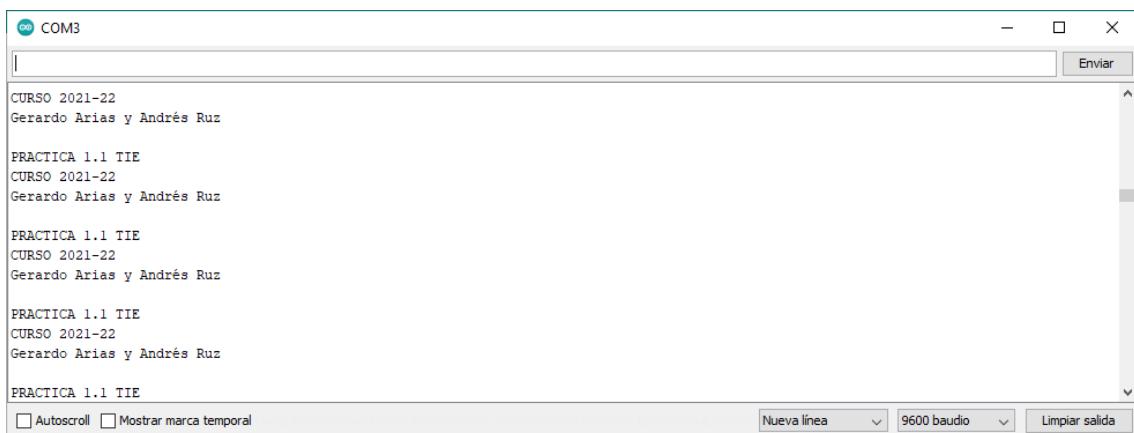
#include <Arduino.h>
#include <HardwareSerial.h>

extern HardwareSerial Serial;

void establishContact();

void setup() {
    // start serial port at 9600 bps:
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    while (Serial.available() <= 0) {
        Serial.println("PRACTICA 1.1 TIE");
        Serial.println("CURSO 2021-22");
        Serial.println("Gerardo Arias y Andrés Ruz");
        Serial.println();
        delay(300);
    }
}
```



Ejercicio 1.2: Escriba un sketch para que un LED de los conectados al conector J4 parpadee. Para ello, desde el IDE abra el archivo Blink que se encuentra en Archivo/Ejemplos/01.Basics\Blink. Modifíquelo para que el LED que parpadea sea un pin del 22 al 29. Compruebe que en la placa conectada al Arduino se produce dicho parpadeo.

```
#define F_CPU 16000000L

#include <Arduino.h>
#include <HardwareSerial.h>
extern HardwareSerial Serial;
void establishContact();
const int led = 25;
void setup() {
    pinMode(led, OUTPUT);
}
void loop() {
    digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
    delay(1000); // wait for a second
    digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
    delay(1000); // wait for a second
}
```

Ejercicio 1.3: Implemente una aplicación que encienda alternativamente los LEDs del 1 al 8 de manera secuencial y durante 300ms.

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA.

AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO

```
#define F_CPU 16000000L
#define ARDUINO 101

#include <Arduino.h>
#include <HardwareSerial.h>
extern HardwareSerial Serial;

void establishContact();

int led = 30;

void setup() {           // Declarar los pines de los leds como salidas
    pinMode(22, OUTPUT);
    pinMode(23, OUTPUT);
    pinMode(24, OUTPUT);
    pinMode(25, OUTPUT);
    pinMode(26, OUTPUT);
    pinMode(27, OUTPUT);
    pinMode(28, OUTPUT);
    pinMode(29, OUTPUT);
}

void loop() {
    digitalWrite(led, LOW);

    if ( led > 22 ) led--;
    else led = 29;

    digitalWrite(led, HIGH);
    delay(300);
}
```

Ejercicio 1.4: Modifique el código del ejercicio 1.3 para que Arduino mande por el puerto serie el valor del LED que está encendiendo en cada momento. Monitorice su correcto funcionamiento con el monitor serie y con el serial plotter.

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA. HAGA UNA CAPTURA DE PANTALLA DEL SERIAL PLOTTER E INCLUYALA EN LA MEMORIA.

```
#define F_CPU 16000000L
#define ARDUINO 101

#include <Arduino.h>
#include <HardwareSerial.h>

extern HardwareSerial Serial;
void establishContact();
int led = 30;

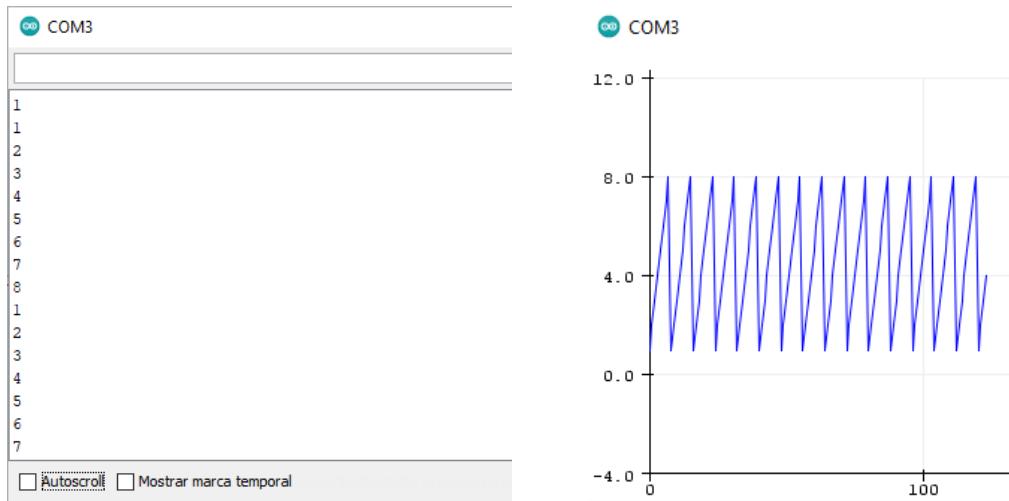
void setup() {      // start serial port at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);

  pinMode(22, OUTPUT);    // Declarar los pines de los leds como salidas
  pinMode(23, OUTPUT);
  pinMode(24, OUTPUT);
  pinMode(25, OUTPUT);
  pinMode(26, OUTPUT);
  pinMode(27, OUTPUT);
  pinMode(28, OUTPUT);
  pinMode(29, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(led, LOW);    // Apaga el led anterior

  if ( led > 22 ) led--;    // Actualiza el valor del led que debe encenderse
  else led = 29;

  digitalWrite(led, HIGH);   // Enciende el led actual
  Serial.println(30 - led); // Envía el numero del led encendido
  delay(1000);             // Retardo de 1 segundo
}
```

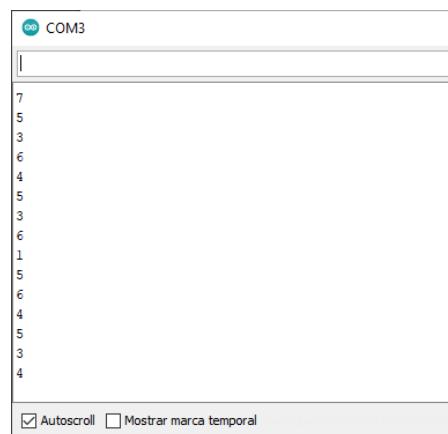


Ejercicio 1.5: Implemente una aplicación que pida la introducción de un número por el puerto serie (1-8) y encienda el LED correspondiente de la placa de periféricos del Arduino. Para comprobar su funcionamiento, envíe estos números utilizando el monitor serie.

IMPORTANTE: Por defecto, el monitor serie envía caracteres ASCII.

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA.

AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO



Ejercicio 1.6: Ejecutar el sketch ARD_P6.ino y visualizar con el “monitor serie” y el “serial plotter” las medias de temperatura, presión y altitud. Visualizar en el osciloscopio las señales de CLK y SDA simultáneamente, utilizando la opción de “single sequence” para poder congelar las señales en la pantalla del osciloscopio. Del análisis de las señales visualizadas determinar la dirección I2C del BMP280. Adjuntar una imagen de la captura del osciloscopio donde se aprecie la señal reloj (CLK) y la dirección del BMP280 (SDA).

INCLUYA CAPTURAS DE PANTALLA EN SU MEMORIA.

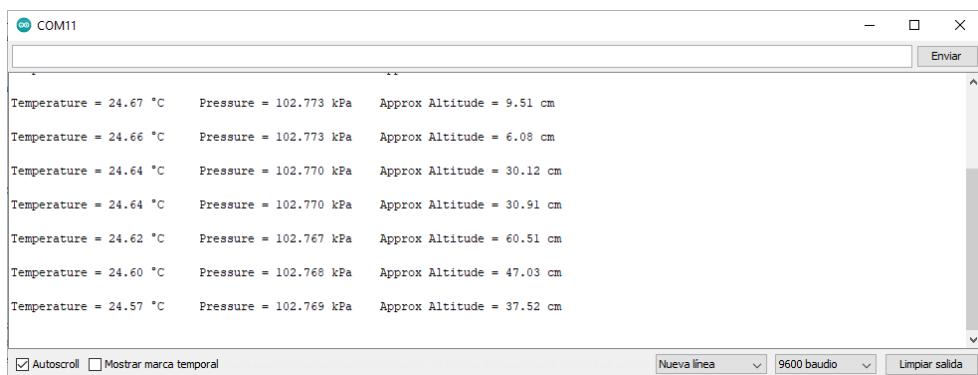
AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO

```
#include <Wire.h> // include Wire library, required for I2C devices
#include <Adafruit_Sensor.h> // include Adafruit sensor library
#include <Adafruit_BMP280.h> // include adafruit library for BMP280 sensor
#define BMP280_I2C_ADDRESS 0x76 // define device I2C address: 0x76 or 0x77
float ZeroAltPressure; // presión en el nivel de altitud relativa 0
Adafruit_BMP280 bmp280;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println(F("Arduino + BMP280"));
    if (!bmp280.begin(BMP280_I2C_ADDRESS)) {
        Serial.println("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring!");
        while (1);
    }
    ZeroAltPressure = bmp280.readPressure()/100;
}

void loop()
{
    // get temperature, pressure and altitude from library
    float temperature = bmp280.readTemperature(); // get temperature
    float pressure = bmp280.readPressure(); // get pressure
    float altitud = bmp280.readAltitude(ZeroAltPressure); // get altitude

    //Serial.print("Temperature = "); // print data on the serial monitor software
    //Serial.print(temperature);
    //Serial.print(" °C ");
    //Serial.print("Pressure = ");
    //Serial.print(pressure/1000,3);
    //Serial.print(" kPa ");
    Serial.print("Approx Altitude = ");
    Serial.print(altitud*100);
    Serial.println(" cm ");

    Serial.println(); // start a new line
    delay(1000); // wait 1 seconds
}
```



Ejercicio 1.7: Modificar el sketch suministrado ARD_P6.ino con objeto de obtener únicamente la medida de altitud. Para disminuir el ruido, cada medida será obtenida como media de 1000 medidas de presión, temperatura y altitud.

- 1.- Colocar el sensor al nivel de suelo y medir la presión. Actualizar la variable "ZeroAltPressure" a este valor medido (de forma que cuando midamos la altitud será la altitud relativa a este punto, es decir, al nivel del suelo). La variable "ZeroAltPressure" debe obtenerse en el `Setup()` realizando la media de 1000 medidas de presión.
- 2.- Comprobar el correcto funcionamiento del sensor variando la altura del sensor. Visualizar las medidas en el "serial monitor" y capturar la imagen.
- 3.- Modificar el sketch para medir y visualizar únicamente la altitud (con el promediado de 1000 medidas) y visualizarlo con el "serial plotter".
- 4.- Variar la altura en tres niveles: suelo, mesa y altillo mesa. Mantener el sensor aproximadamente 1 minuto en cada altura. Capturar la imagen del "serial plotter".

```
#include <Wire.h>           // include Wire library, required for I2C devices
#include <Adafruit_Sensor.h> // include Adafruit sensor library
#include <Adafruit_BMP280.h> // include adafruit library for BMP280 sensor

#define BMP280_I2C_ADDRESS 0x76 // define device I2C address: 0x76 or 0x77 (0x77 is library default address)

Adafruit_BMP280 bmp280;

float localAltitude=0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Serial.begin(9600);

  //Serial.println(F("Arduino + BMP280"));

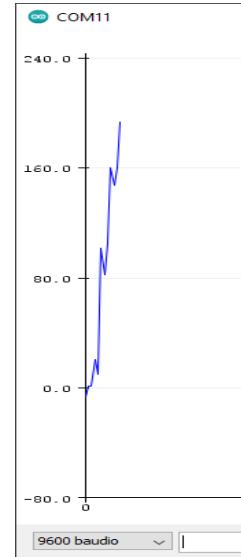
  if (!bmp280.begin(BMP280_I2C_ADDRESS))
  {
    Serial.println("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring!");
    while (1);
  }
  for (int j=0;j<1000;j++){
  localAltitude = localAltitude+bmp280.readPressure();
  }
  localAltitude=localAltitude/1000;
}
```

```

void loop() {
    float pressure=0;
    float avgpressure=0;
    float temperature=0;
    float avgtemperature=0;
    float altitud=0;
    float avgaltitud=0;
    float seaLevelhPa = localAltitude/100; // Presión atmosférica de referencia para altitud relativa=0
    int nummuestras=1000; // n° de lecturas a promediar

    for (int i=0;i<nummuestras;i++){
        pressure = bmp280.readPressure();
        temperature=bmp280.readTemperature();
        altitud=bmp280.readAltitude(seaLevelhPa);
        avgpressure=avgpressure+pressure;
        avgtemperature=avgtemperature+temperature;
        avgaltitud=avgaltitud+altitud;
    }
    pressure=avgpressure/nummuestras;
    temperature=avgtemperature/nummuestras;
    altitud=avgaltitud/nummuestras;
    /*Serial.print("Pressure = ");
    Serial.print(pressure);
    Serial.print("Pa, ");
    Serial.print("Temperature = ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.print(" °C, ");
    //Serial.print("Altitude = ");
    //Serial.println(altitud*100);
    //Serial.println(" cm, ");
    delay(13000);
}

```



Ejercicio 1.9: Implemente una función en Matlab para leer los datos que pone en el puerto serie Arduino y los envíe a un canal creado en ThingSpeak. Utilice para comprobar su funcionamiento el código Arduino implementado en el Ejercicio 1.7 (ARD_P1-7), actualizando los datos de altitud del puerto serie cada 16s (enviando únicamente el valor numérico de la altitud al puerto serie, sin texto adicional) y un teléfono móvil (o conexión a ThingSpeak mediante el PC) para comprobar que los datos se almacenan correctamente en el canal de ThingSpeak. Si al ejecutar el programa de Matlab le aparece el mensaje “Cannot detect thingSpeakWrite function. Install the ThingSpeak Support Toolbox to use this function”, proceda con la instalación del Toolbox pinchando el enlace.

Ejecute en Matlab el sketch **ARD_P1_8_Matlab.m** que enviará los datos de altitud que el sketch **ARD_P7** envía al puerto serie “COM X”, al canal de ThingSpeak. Para ello, modifique adecuadamente el puerto serie utilizado, su número de canal y su código de escritura (Write API Key).

Conéctese a su canal de ThingSpeak y visualice la representación gráfica de los datos de altitud del sensor BMP280. Vaya variando la altitud del sensor en tres niveles y teniendo en cuenta que los datos se envían a ThingSpeak cada 16s (coloque el sensor en tres alturas diferentes durante un mínimo de 3 minutos en cada altura). Capture la gráfica obtenida en el canal de ThinSpeak.

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO TANTO DEL ARCHIVO PRINCIPAL.CPP COMO DE LA INSTRUCCIÓN MATLAB EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA.

INCLUYA CAPTURAS DE PANTALLA EN SU MEMORIA.

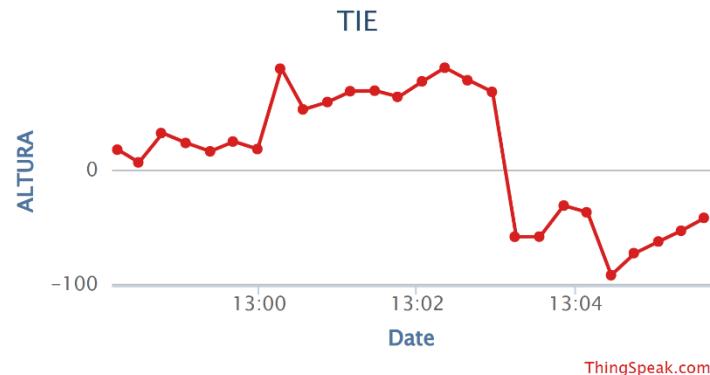
AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO

```
% Cerrar todos los puertos serie abiertos que pudiera tener Matlab
delete(instrfindall)
% Crear un objeto para usar el puerto serie al que estÃ¡ conectado el Arduino
arduino = serial( 'COM11' );
% Configurar el puerto serie
set(arduino,'DataBits',8);
set(arduino,'StopBits',1);
set(arduino,'BaudRate',9600);
% Abrir el puerto serie con el que se comunica el Arduino
pause(18);
fopen(arduino);

while(1)
    % Esperar un dato del arduino
    while(arduino.BytesAvailable==0)
        end
    pause(1);
    B=fscanf(arduino, '%f')

    % Escribir valor en el canal de ThingSpeak
    thingSpeakWrite(1637342,B,'WriteKey','DUCV7CSZ4LZAJWGK');

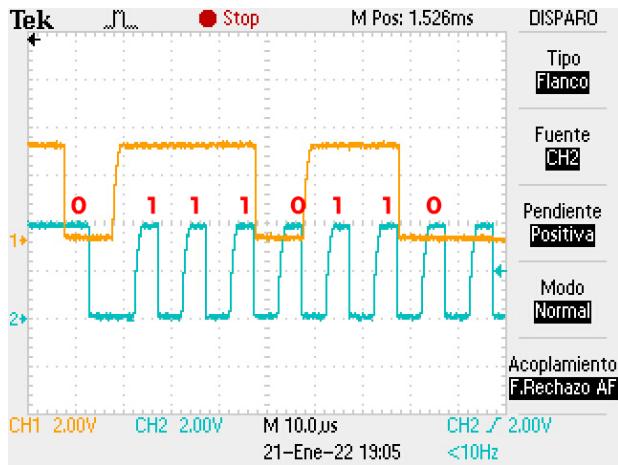
    end
    % Cerrar el puerto serie con el que se comunica el Arduino
    fclose(arduino);
```



Ejercicio 1.10: Visualice y capture las señales del protocolo SPI. Para ello, genere un sketch que lea permanentemente con el protocolo SPI la presión del sensor BMP280 (ARD_P1-9-BMP280SPI).

Visualice en el osciloscopio los pares de señales SS-SCK y MISO-SCK y determine a partir de estas señales el modo de transmisión utilizado. Capture las señales de los cronogramas.

RECUERDE COPIAR EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA LAS SEÑALES CAPTURADAS, ASÍ COMO EL MODO DE TRANSMISIÓN UTILIZADO.



Ejercicio 1.11: Visualice las medidas de campo en x,y,z y azimut mediante el monitor serie. Visualice las señales x,y,z con el serial plotter. Capture una imagen de pantalla donde se muestre gráficamente las medidas del campo en x,y,z habiendo variado la posición del sensor en todas direcciones (sketch ARD_P1-10-QMC5883L). Determine de forma aproximada la dirección del campo terrestre en el laboratorio. Busque una explicación a esta anomalía en la dirección del campo terrestre (nota: tener en cuenta que justo encima del laboratorio, en la planta superior, se encuentra una cámara anechoica de grandes dimensiones, con paredes de acero magnético).

INCLUYA CAPTURAS DE PANTALLA EN SU MEMORIA.

AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO

```

COM11
=====
13:13:31.533 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:32.602 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:32.649 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:32.693 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:32.739 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:32.787 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:32.902 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:35.172 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:35.220 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:35.314 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:35.828 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:35.874 -> CALIBRANDO... mueve el sensor en todas direcciones
13:13:37.792 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:37.839 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:37.885 -> CALIBRANDO... mueve el sensor en todas direcciones
13:13:37.978 -> CALIBRANDO... mueve el sensor en todas direcciones
13:13:38.023 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:38.070 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:38.116 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:39.099 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:39.146 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:39.238 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:39.285 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:39.331 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:39.377 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:39.469 -> CALIBRANDO... mueva el sensor en todas direcciones
13:13:44.459 -> HECHO. Copie la linea de abajo y péguela en el sketch para la medida de campo magnético en x,y,z.
13:13:44.551 ->
13:13:44.551 -> compass.setCalibration(-2220, 1242, -2043, 908, -1490, 1876);

 Autoscroll  Mostrar marca temporal

```

```

#include <QMC5883LCompass.h>

QMC5883LCompass compass;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  compass.init();
  //Pegue el resultado de la calibración a continuación
  compass.setCalibration(-2220, 1242, -2043, 908, -1490, 1876);

}

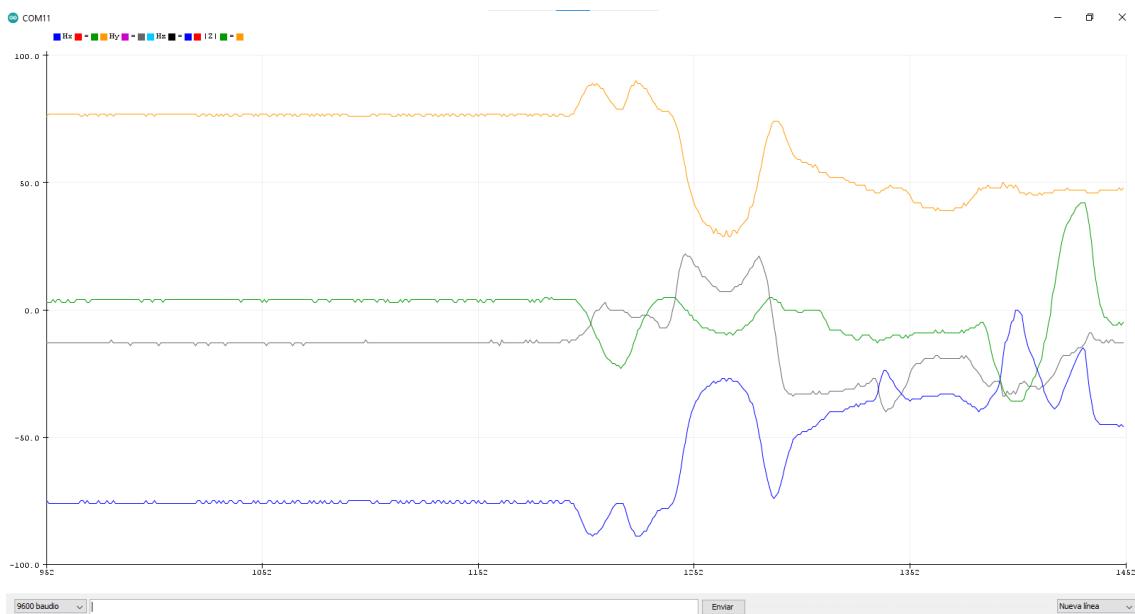
void loop() {
  int x, y, z;
  float Hx, Hy, Hz, moduloH;

  // Read compass values
  compass.read();

  // Return XYZ readings
  x = compass.getX()/35;
  y = compass.getY()/35;
  z = compass.getZ()/35;
  moduloH=sqrt(x*x+y*y+z*z);

  Serial.print("Hx = ");
  Serial.print(x);
  Serial.print("      Hy = ");
  Serial.print(y);
  Serial.print("      Hz = ");
  Serial.print(z);
  Serial.print("      |Z| = ");
  Serial.print(moduloH,0);
  Serial.println();
  delay(10);
}

```



Ejercicio 1.12: Visualice el azimut del campo medido con el sensor QMC5883 moviendo el sensor en todas direcciones. Visualice la brújula ejecutando CompassProc en processing.

INCLUYA CAPTURAS DE PANTALLA EN SU MEMORIA.

AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO

```
#include <Wire.h>
#include <MechaQMC5883.h>

MechaQMC5883 mag;

void setup(void)
{
    Wire.begin();
    Serial.begin(9600);
    mag.init();
    mag.setMode(Mode_Continuous, ODR_10Hz, RNG_2G, OSR_512);
}

void loop()
{
    int x, y, z;
    float azimuth;
    float moduloR;
    mag.read(&x, &y, &z, &azimuth);
    float xl=x/12000.0/(4*PI*le-3);
    float yl=y/12000.0/(4*PI*le-3);
    float zl=z/12000.0/(4*PI*le-3);

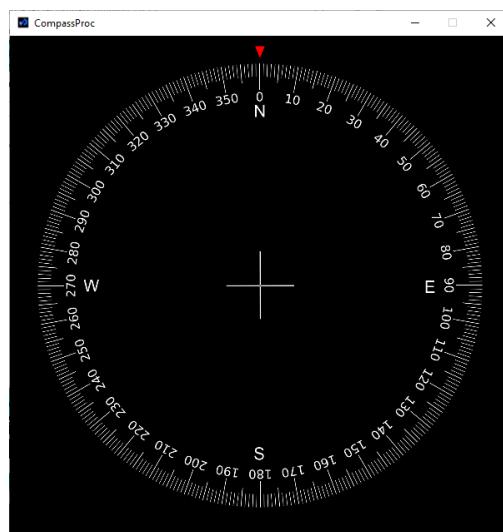
    Serial.println(azimuth);
    delay(200);
}

import processing.serial.*;
Serial port_1;
PImage background;
PImage dial;
float heading;
float headrad;

void setup() {
    //change the 0 to a 1 or 2 etc, to match your port.
    port_1 = new Serial(this, Serial.list()[2], 9600);
    background = loadImage("bg.png");//Adding image to processing
    dial = loadImage("dial.png");//Adding image to processing
    size(600, 600);
    frameRate(29);
    port_1.bufferUntil ('\\n');
}

void draw() {
    translate(width/2, height/2);
    image(background, 0, 0, width, height);
    imageMode(CENTER);
    headrad = map(heading, 0, 360, 0, 6.283);
    //println(headrad);
    rotate(-headrad);
    image(dial, 0, 0, width, height);
}

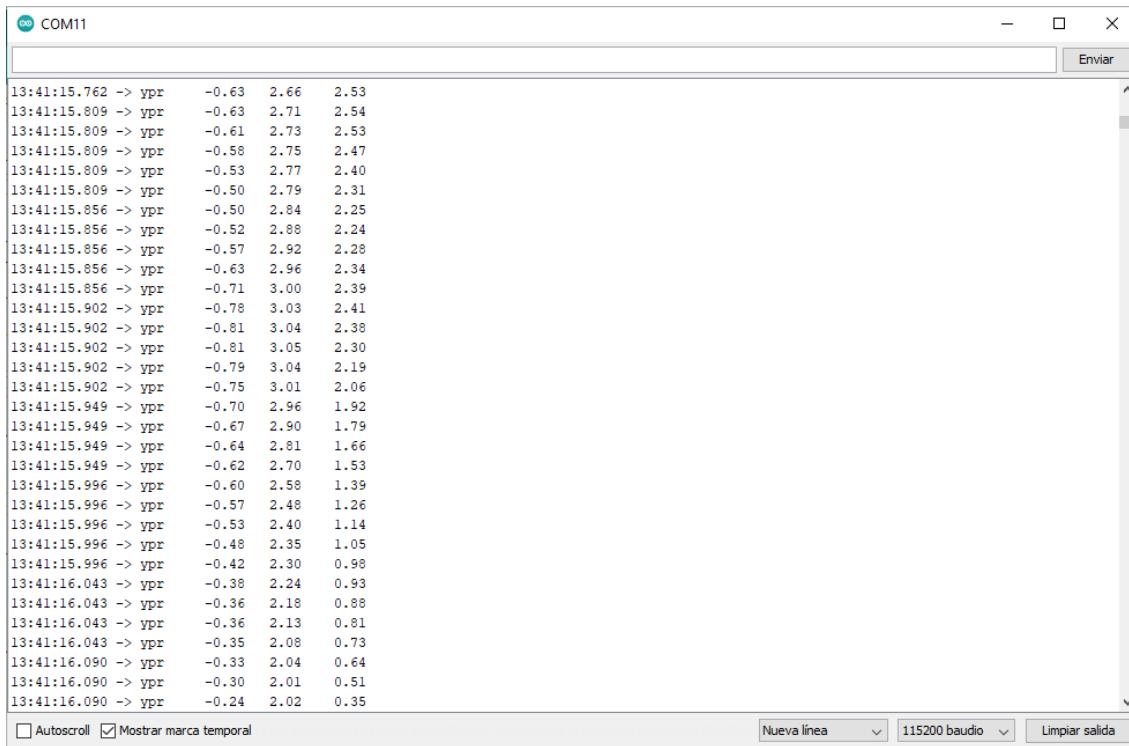
void serialEvent (Serial port_1)
{
    heading = float(port_1.readStringUntil('\\n'));
}
```



Ejercicio 1.13: Ejecute el sketch **ARD_P1-12-MPU6050** descomentando la opción `#define OUTPUT_READABLE_YAWPITCHROLL` y visualice las variables Roll, Pitch y Yaw en el monitor serie. Ajuste el monitor serie para comunicarse a 115200 baudios. Compruebe la variación de las variables al realizar movimientos de rotación del sensor MPU6050.

INCLUYA CAPTURAS DE PANTALLA EN SU MEMORIA.

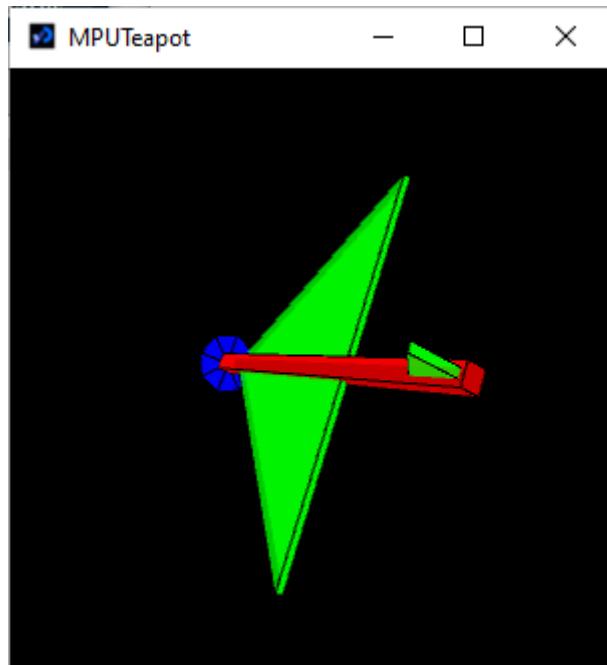
AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO



Timestamp	Variable	Value 1	Value 2	Value 3
13:41:15.762	ypr	-0.63	2.66	2.53
13:41:15.809	ypr	-0.63	2.71	2.54
13:41:15.809	ypr	-0.61	2.73	2.53
13:41:15.809	ypr	-0.58	2.75	2.47
13:41:15.809	ypr	-0.53	2.77	2.40
13:41:15.809	ypr	-0.50	2.79	2.31
13:41:15.856	ypr	-0.50	2.84	2.25
13:41:15.856	ypr	-0.52	2.88	2.24
13:41:15.856	ypr	-0.57	2.92	2.28
13:41:15.856	ypr	-0.63	2.96	2.34
13:41:15.856	ypr	-0.71	3.00	2.39
13:41:15.902	ypr	-0.78	3.03	2.41
13:41:15.902	ypr	-0.81	3.04	2.38
13:41:15.902	ypr	-0.81	3.05	2.30
13:41:15.902	ypr	-0.79	3.04	2.19
13:41:15.902	ypr	-0.75	3.01	2.06
13:41:15.949	ypr	-0.70	2.96	1.92
13:41:15.949	ypr	-0.67	2.90	1.79
13:41:15.949	ypr	-0.64	2.81	1.66
13:41:15.949	ypr	-0.62	2.70	1.53
13:41:15.996	ypr	-0.60	2.58	1.39
13:41:15.996	ypr	-0.57	2.48	1.26
13:41:15.996	ypr	-0.53	2.40	1.14
13:41:15.996	ypr	-0.48	2.35	1.05
13:41:15.996	ypr	-0.42	2.30	0.98
13:41:16.043	ypr	-0.38	2.24	0.93
13:41:16.043	ypr	-0.36	2.18	0.88
13:41:16.043	ypr	-0.36	2.13	0.81
13:41:16.043	ypr	-0.35	2.08	0.73
13:41:16.090	ypr	-0.33	2.04	0.64
13:41:16.090	ypr	-0.30	2.01	0.51
13:41:16.090	ypr	-0.24	2.02	0.35

Ejercicio 1.14: Ejecute el sketch ARD_P1-12-MPU6050 descomentando únicamente la opción #define OUTPUT_TEAPOT. Ejecute el sketch MPUteapot en processing y visualizará un modelo de un aeroplano que seguirá los movimientos de rotación del sensor.

AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO



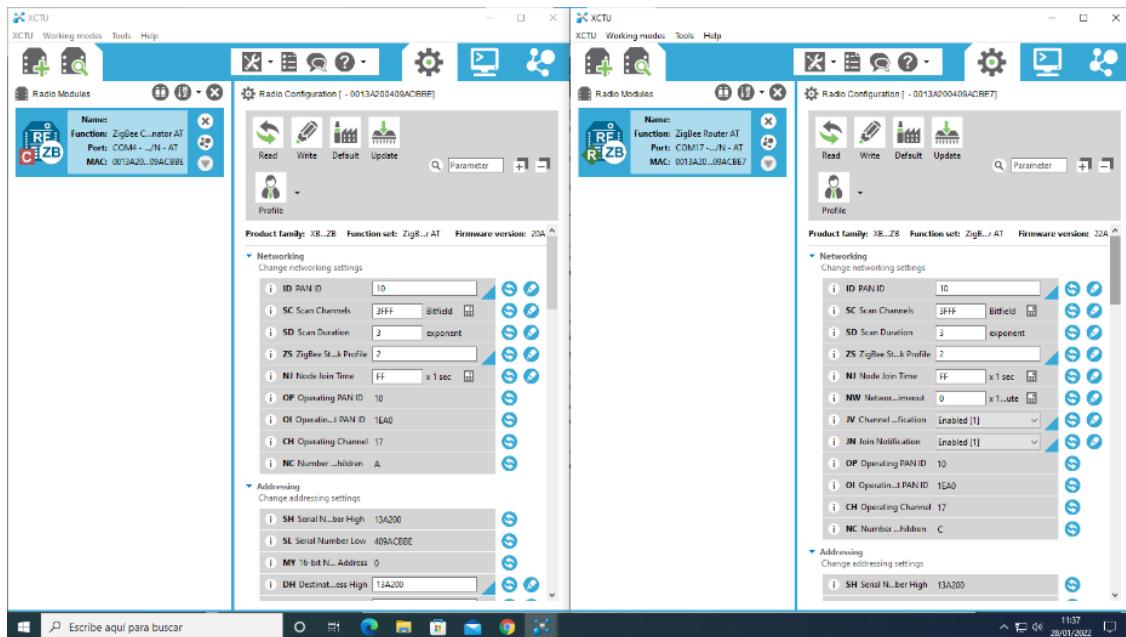
Prácticas Redes de sensores 2: COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

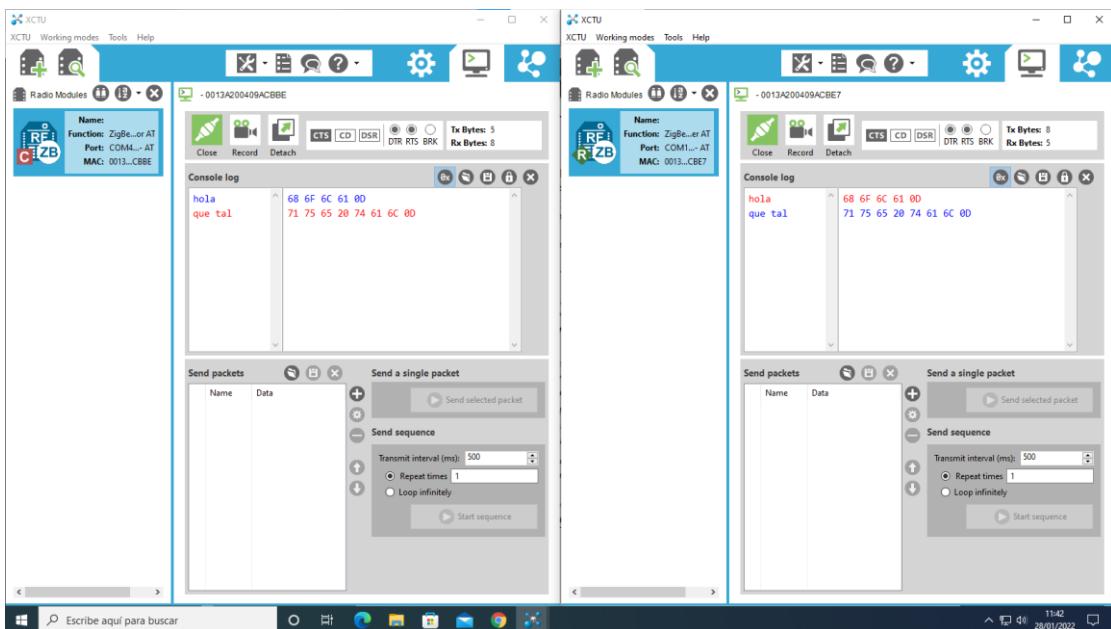
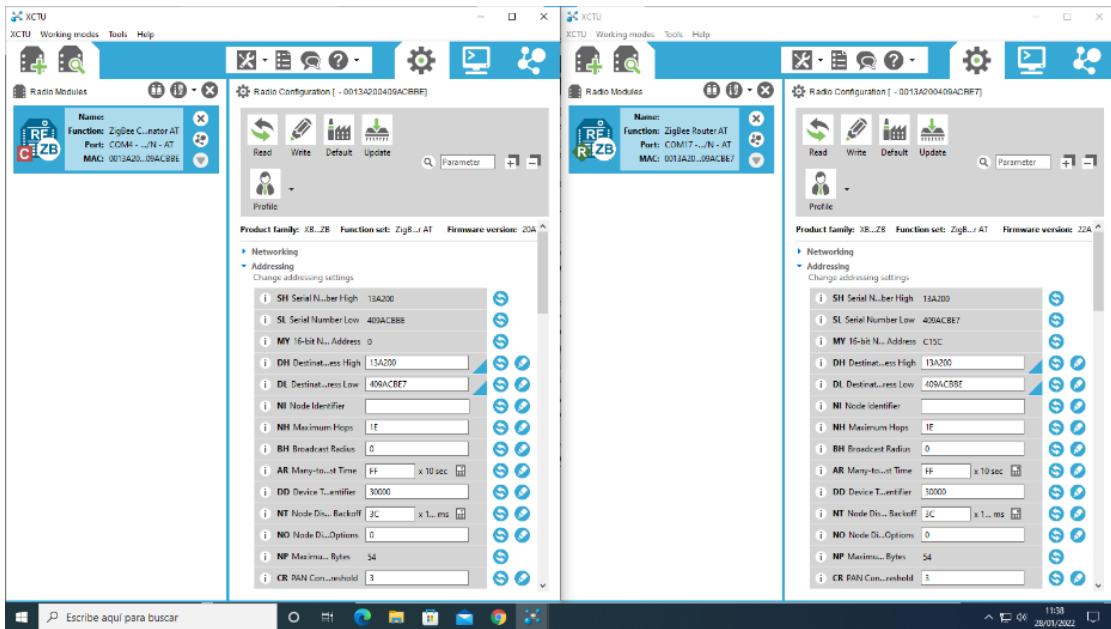
ZIGBEE EN MODO AT

Ejercicio 3.1

- a) Configure uno de los módulos XBee disponibles en modo AT y como coordinador. Comuníquese con dicho módulo XBee y mediante el monitor disponible en la aplicación XCTU consulte su dirección (MAC de 64 bits) y fije su identificador de red con el número de su puesto.
- b) Configure el otro módulo XBee disponible en modo AT y como router. Comuníquese con dicho módulo XBee y mediante el monitor disponible en la aplicación XCTU consulte su dirección y fije su identificador de red con el número de su puesto. Para que la comunicación con el otro XBee sea posible es imprescindible que ambos empleen la misma PAN ID (identificador de la red).
- c) Consulte mediante comandos AT la PAN ID, el canal utilizado y la dirección de cada XBee (origen y destino). Realice una captura de pantalla de la configuración de los dos módulos, así como una captura de pantalla de la interrogación de los parámetros del XBee desde la consola.
- d) Compruebe la comunicación entre los dos XBee escribiendo texto en la consola de uno de ellos y viendo cómo se recibe en la consola de otro XBee.

RECUERDE ADJUNTAR CAPTURAS DE PANTALLA DEL MONITOR SERIE DE XCTU EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA.





Ejercicio 3.2

Coloque el XBee programado con el firmware de coordinador en modo AT en el módulo de periféricos del Arduino (conexión de XBee en el módulo de prácticas que incorpora el Arduino).

Escriba un código de Arduino que se comunique con su módulo XBee y le consulte su identificador de red y su dirección (de remitente). Adicionalmente, Arduino deberá enviar por el puerto serie los datos que tenga disponibles desde el XBee (puerto Serial1) y monitorice dicha respuesta desde el monitor serie del IDE. Utilice como punto de partida el sketch "ARD_P2-1", y modifíquelo con su PAN ID y la dirección física de su XBee..

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA Y UNA CAPTURA DE PANTALLA DEL MONITOR SERIE.

The screenshot shows a Windows-style terminal window titled "COM3". The main text area displays a log of XBee communication messages. The messages are timestamped and show the XBee responding to AT commands. The log includes:

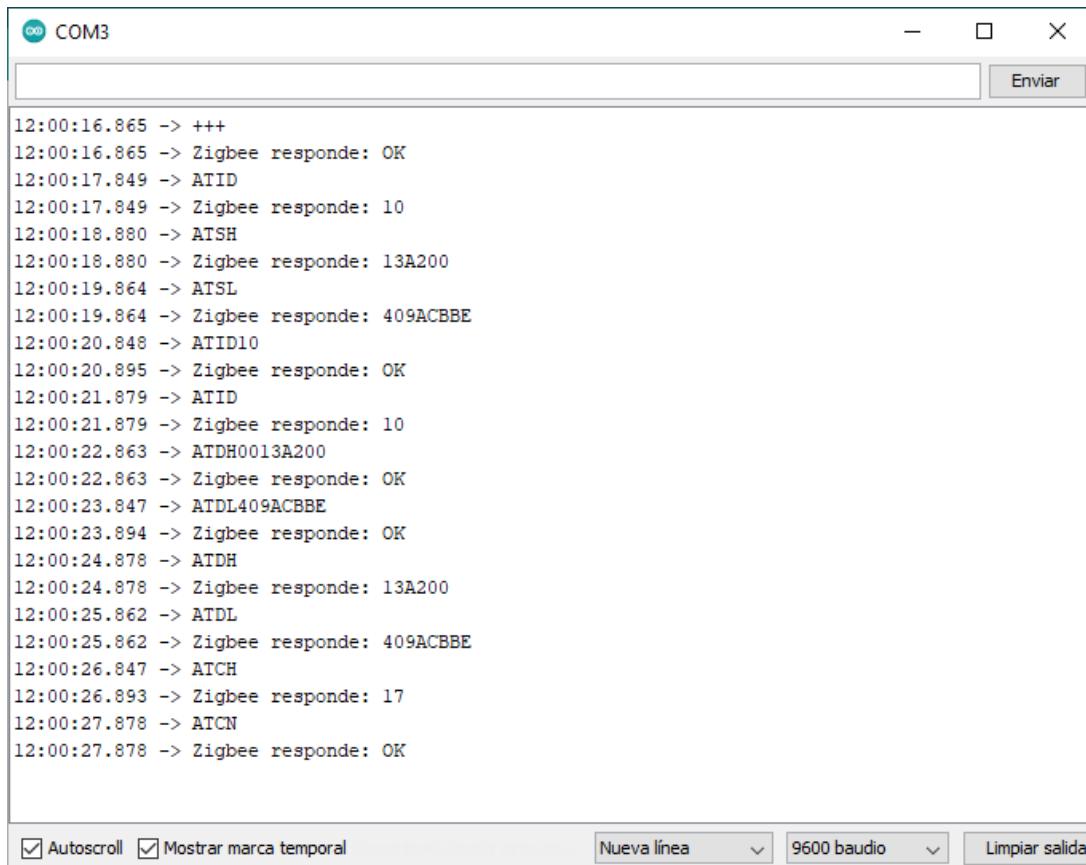
```
11:56:39.277 -> +++
11:56:39.277 -> Zigbee responde:
11:56:40.261 -> ATID
11:56:40.308 -> Zigbee responde: OK
11:56:41.292 -> ATSH
11:56:41.292 -> Zigbee responde: 13A200
11:56:42.276 -> ATSL
11:56:42.276 -> Zigbee responde: 409ACBBE
11:56:43.307 -> ATID
11:56:43.307 -> Zigbee responde: OK
11:56:44.291 -> ATID
11:56:44.291 -> Zigbee responde: 10
11:56:45.275 -> ATCN
11:56:45.275 -> Zigbee responde: OK
```

At the bottom of the window, there are several control buttons and checkboxes:

- Autoscroll Mostrar marca temporal
- Nueva línea
- 9600 baudio
- Limpiar salida

Ejercicio 3.3

Escriba un sketch para Arduino para fijar la dirección de destino de la comunicación con el XBee. Dicha dirección de destino debe coincidir con la dirección del módulo XBee conectado al PC con el firmware de router AT. Tras fijar esta dirección, haga que Arduino consulte esta dirección de destino y de nuevo envíe la respuesta por el puerto serie. Monitorice la respuesta en el monitor serie del IDE. Utilice como punto de partida el sketch "ARD_P2-2"



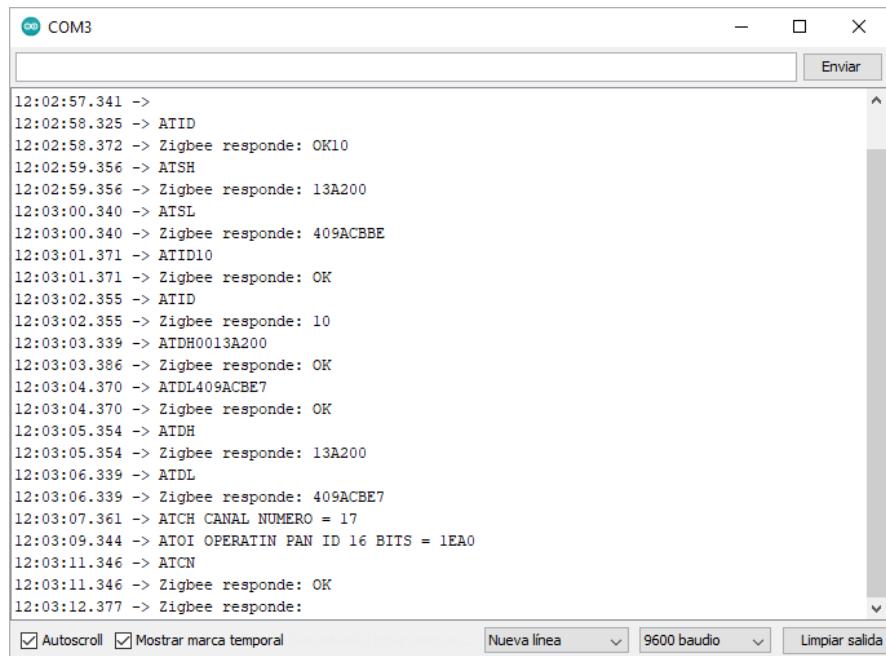
```
12:00:16.865 -> +++
12:00:16.865 -> Zigbee responde: OK
12:00:17.849 -> ATID
12:00:17.849 -> Zigbee responde: 10
12:00:18.880 -> ATSH
12:00:18.880 -> Zigbee responde: 13A200
12:00:19.864 -> ATSL
12:00:19.864 -> Zigbee responde: 409ACBBE
12:00:20.848 -> ATID10
12:00:20.895 -> Zigbee responde: OK
12:00:21.879 -> ATID
12:00:21.879 -> Zigbee responde: 10
12:00:22.863 -> ATDH0013A200
12:00:22.863 -> Zigbee responde: OK
12:00:23.847 -> ATDL409ACBBE
12:00:23.894 -> Zigbee responde: OK
12:00:24.878 -> ATDH
12:00:24.878 -> Zigbee responde: 13A200
12:00:25.862 -> ATDL
12:00:25.862 -> Zigbee responde: 409ACBBE
12:00:26.847 -> ATCH
12:00:26.893 -> Zigbee responde: 17
12:00:27.878 -> ATCN
12:00:27.878 -> Zigbee responde: OK
```

Autoscroll Mostrar marca temporal Nueva línea 9600 baudio Limpiar salida

Ejercicio 3.4

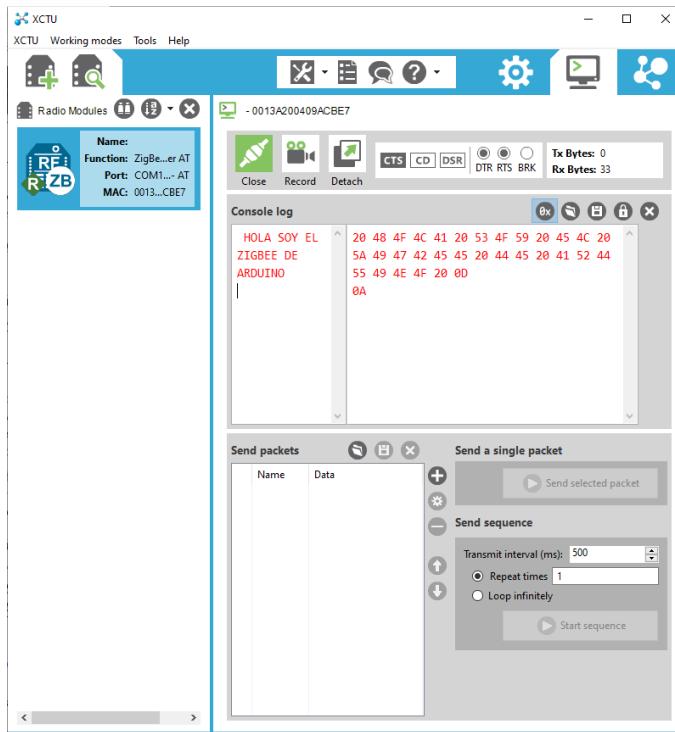
Escriba un sketch para Arduino para comunicarse entre los dos módulos XBee, de manera que, tras la configuración de la dirección del destino esté monitorizando el puerto Serial1 y coloque en el puerto Serie los datos que le lleguen desde el módulo XBee conectado al PC. Compruebe su funcionamiento enviando paquetes de datos desde el monitor serie de XCTU. Utilice como punto de partida el sketch "ARD_P2-3"

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA Y UNA CAPTURA DE PANTALLA DEL MONITOR SERIE.



The screenshot shows the 'COM3' serial monitor window from the XCTU software. The window displays a list of messages exchanged between a Zigbee module and a host computer. The messages are timestamped and show AT commands being sent to the Zigbee module and its responses. The interface includes standard serial monitor controls at the bottom: 'Autoscroll' and 'Mostrar marca temporal' checkboxes, a 'Nueva línea' dropdown, a '9600 baudio' dropdown, and a 'Limpiar salida' button.

```
12:02:57.341 -> ATID
12:02:58.325 -> ATID
12:02:58.372 -> Zigbee responde: OK10
12:02:59.356 -> ATSH
12:02:59.356 -> Zigbee responde: 13A200
12:03:00.340 -> ATSL
12:03:00.340 -> Zigbee responde: 409ACBBE
12:03:01.371 -> ATID10
12:03:01.371 -> Zigbee responde: OK
12:03:02.355 -> ATID
12:03:02.355 -> Zigbee responde: 10
12:03:03.339 -> ATDH0013A200
12:03:03.386 -> Zigbee responde: OK
12:03:04.370 -> ATDL409ACBE7
12:03:04.370 -> Zigbee responde: OK
12:03:05.354 -> ATDH
12:03:05.354 -> Zigbee responde: 13A200
12:03:06.339 -> ATDL
12:03:06.339 -> Zigbee responde: 409ACBE7
12:03:07.361 -> ATCH CANAL NUMERO = 17
12:03:09.344 -> ATOI OPERATIN PAN ID 16 BITS = 1EA0
12:03:11.346 -> ATCN
12:03:11.346 -> Zigbee responde: OK
12:03:12.377 -> Zigbee responde:
```



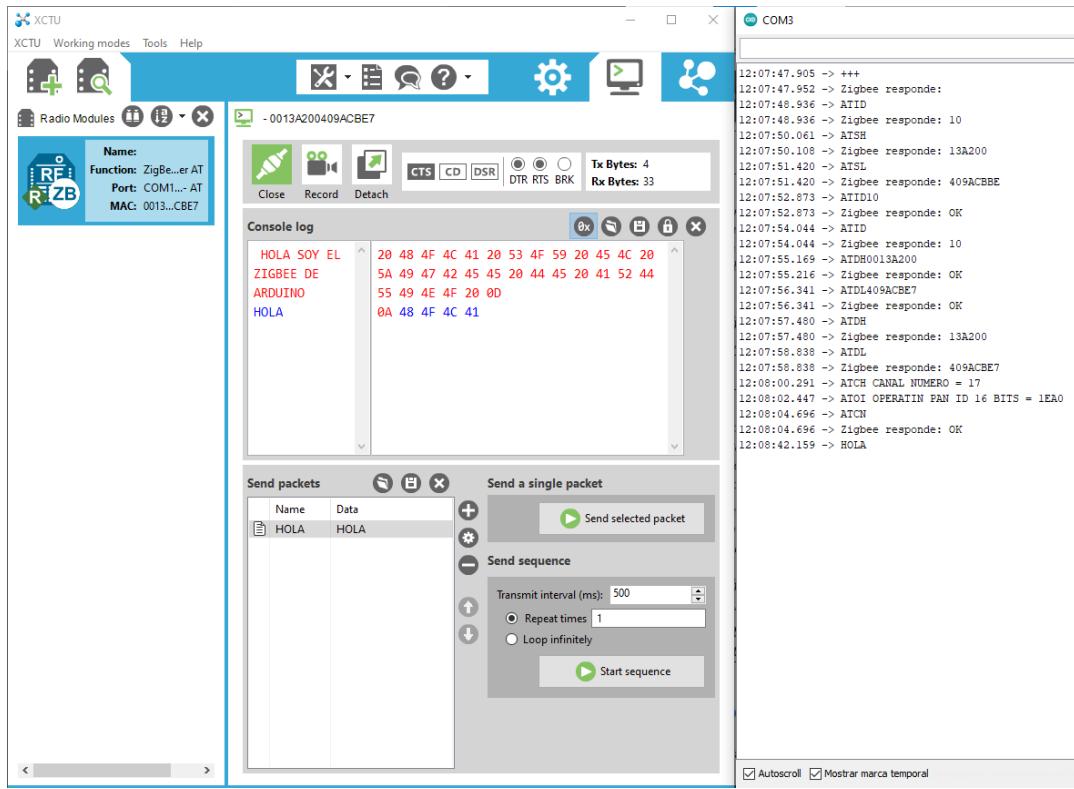
Ejercicio 3.5

Modifique el código del ejercicio 3.4 para que el Arduino, además de monitorizar el puerto Serial1, también monitorice el puerto serie y si hay datos disponibles los envíe por el módulo ZigBee. Compruebe su funcionamiento escribiendo datos desde el monitor serie del IDE y leyéndolos desde el monitor serie de XCTU. Utilice como punto de partida el sketch "ARD_P2-4".

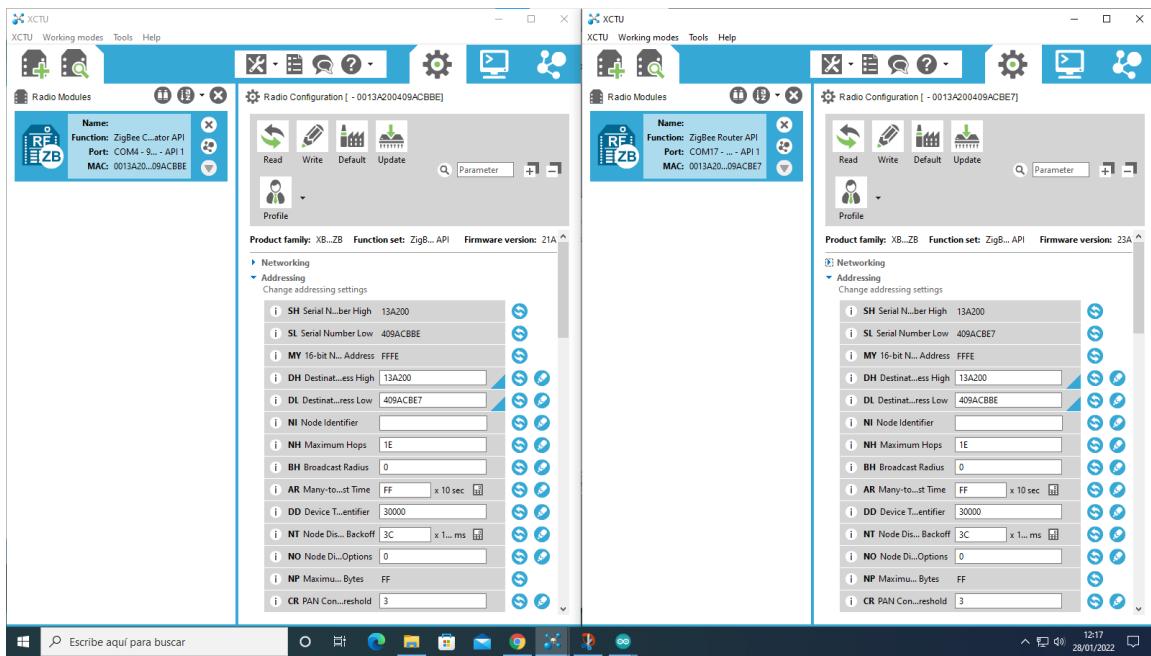
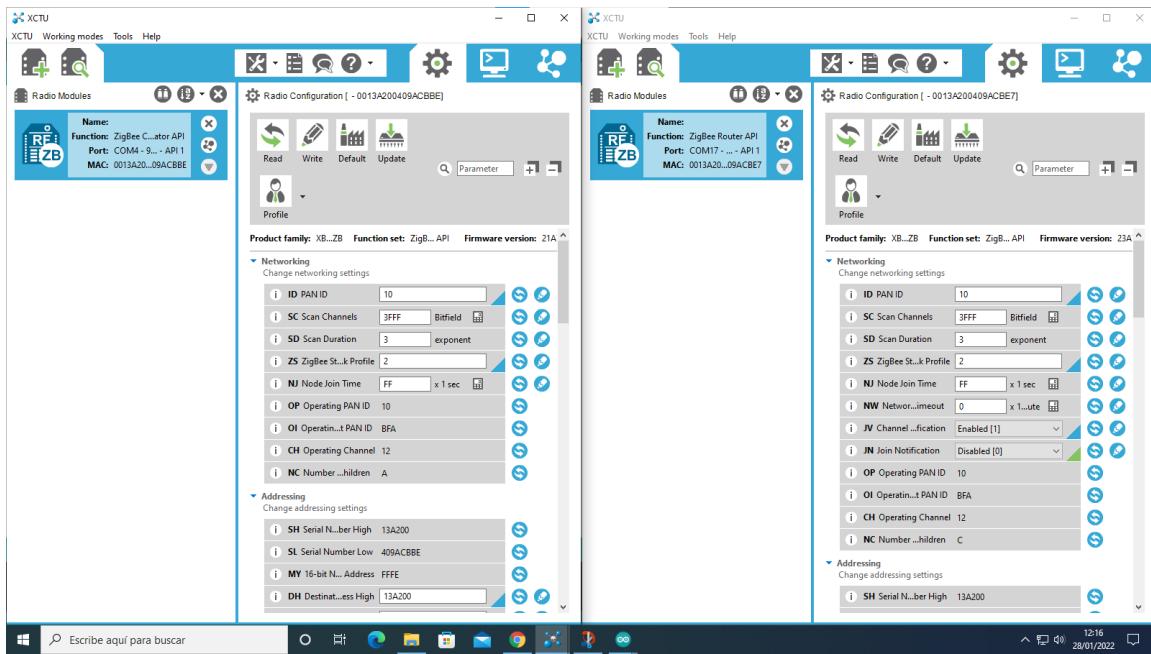
Para enviar texto del XBee insertado en el USB Adapter puede utilizar la opción de enviar paquetes (para ello, pinche el símbolo + y se abrirá una ventana donde puede añadir texto y salvarlo como paquete que luego podrá enviar pulsando en "enviar paquete seleccionado").

RECUERDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA Y UNA CAPTURA DE PANTALLA DEL MONITOR SERIE.

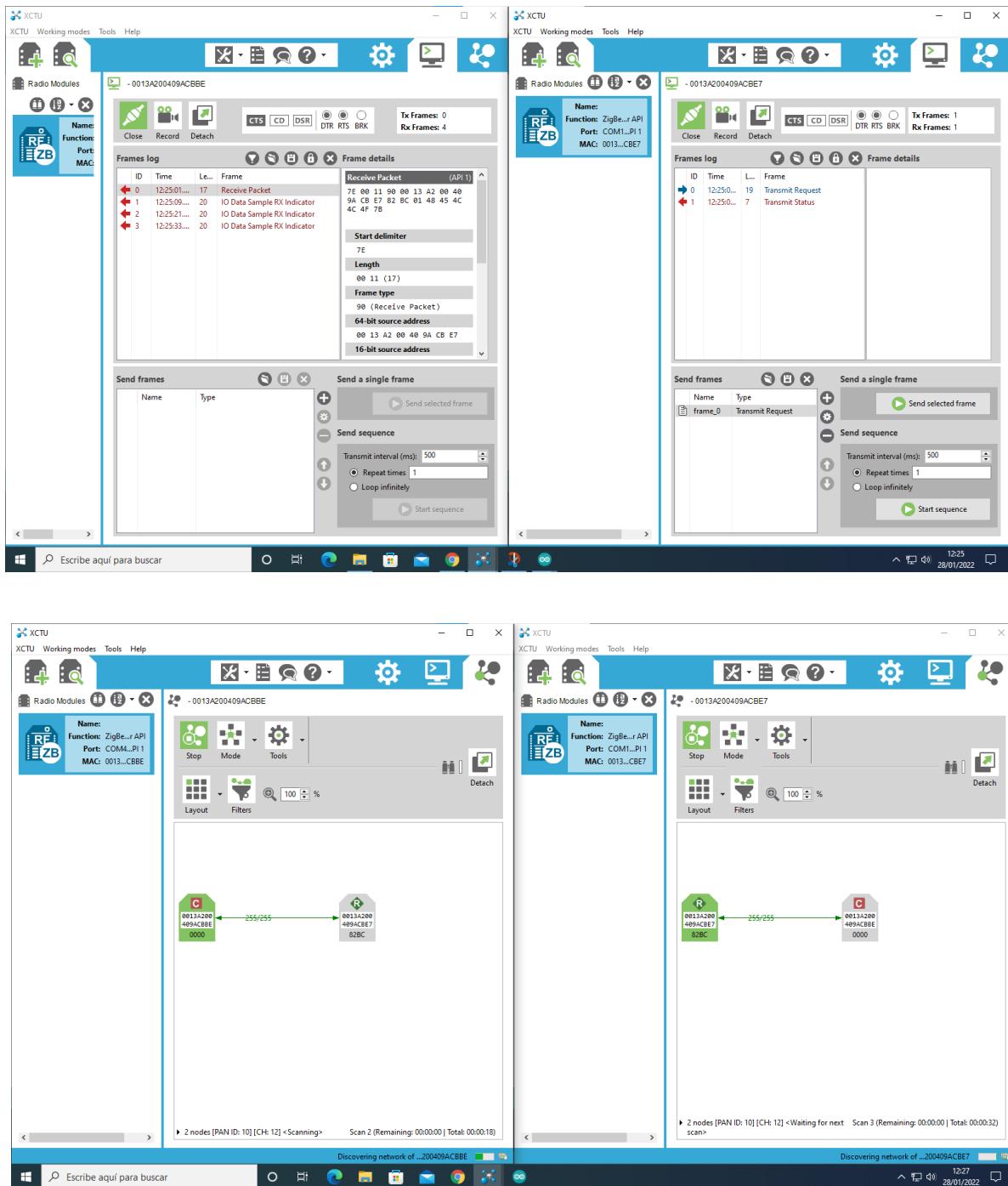
AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA COMUNICACIÓN BIDIRECCIONAL.



ZIGBEE MODO API



COMPROBACIÓN



APLICACIÓN: CONTROL DE UN LED Y MEDIDA CON UN LDR CONECTADOS A UN XBEE REMOTO

Ejercicio 3.6

Conecte el XBee coordinador API al PC mediante el USB Adapter. Conecte el XBee router API en la placa de contactos del laboratorio a través del USB Adapter (marcado como Ri). Monte en la placa de contactos el circuito propuesto con los LEDs y la LDR prácticamente tocándose (para que la LDR varíe lo máximo posible cuando el LED esté encendido). Los tres LEDs irán conectados a las salidas digitales D2, D3, D4. La LDR irá conectada a la entrada analógica A0 (pin 22 en el USB Adapter) y el sensor de temperatura LM35 a la entrada analógica A1.

Con el XCTU, detecte tanto el router como el coordinador y establezca la comunicación. Genera ocho tramas (utilice el generador de tramas en la consola de XCTU, visto anteriormente):

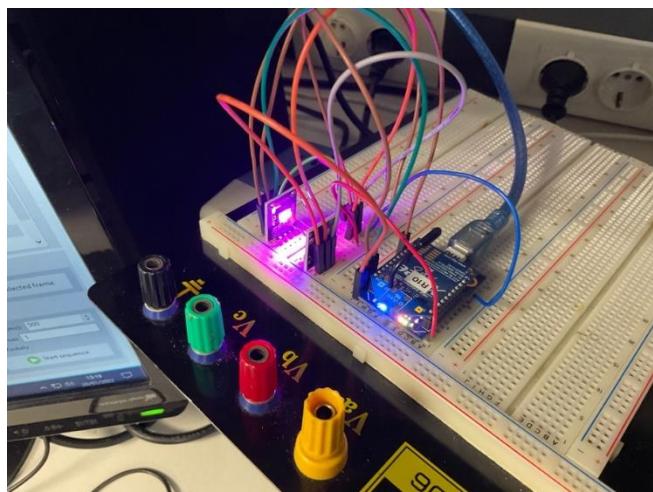
- 1) D2 OUTPUT HIGH – LED R ON: tipo de trama 0x17, AT command D2, parameter 0x05
- 2) D2 OUTPUT LOW – LED R OFF: tipo de trama 0x17, AT command D2, parameter 0x04
- 3) D3 OUTPUT HIGH – LED G ON: tipo de trama 0x17, AT command D3, parameter 0x05
- 4) D3 OUTPUT LOW – LED G OFF: tipo de trama 0x17, AT command D3, parameter 0x04
- 5) D4 OUTPUT HIGH – LED B ON: tipo de trama 0x17, AT command D4, parameter 0x05
- 6) D4 OUTPUT LOW – LED B OFF: tipo de trama 0x17, AT command D4, parameter 0x04
- 7) A0 ANALOG INPUT: tipo de trama 0x17, AT command D0, parameter 0x02
- 8) A1 ANALOG INPUT: tipo de trama 0x17, AT command D1, parameter 0x02

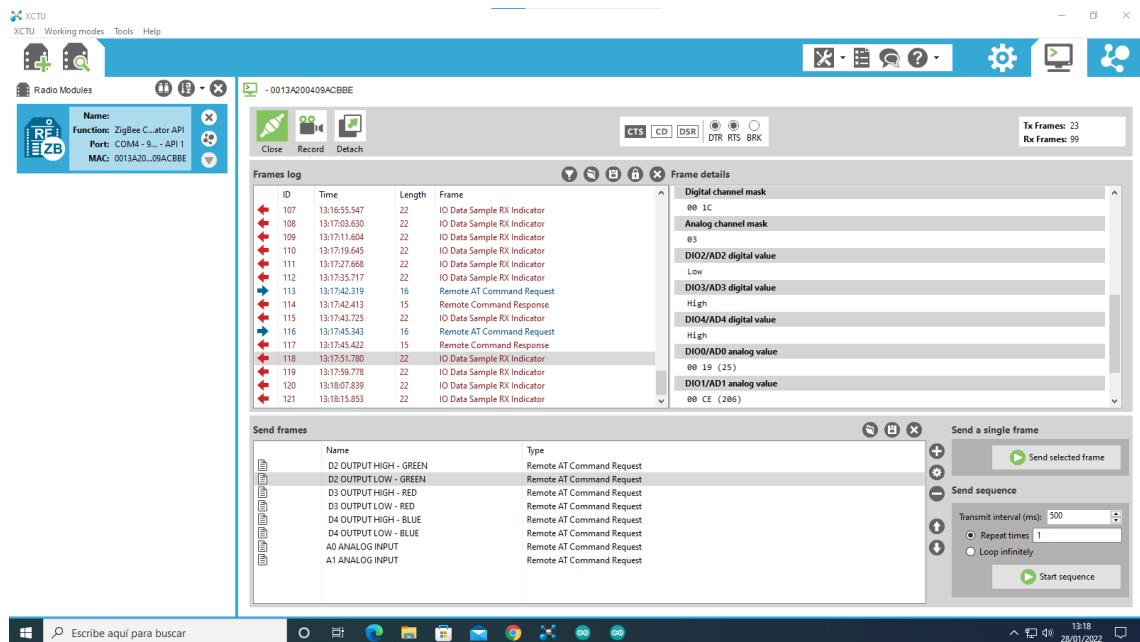
En el router configure la opción I/O Sampling – IR con un valor de 2000 (x1ms), lo cual hará que el router envíe una trama “IO Data Sample RX Indicator” (0x92) cada 8s, con la información del estado de las salidas digitales D2, D3, D4 y el valor de la entrada analógica A0 y A1 (caída de tensión en la LDR y medida del LM35). En la consola del XCTU puede ver estas tramas enviadas y recibidas por el coordinador y router.

Envíe alternativamente las tramas para encender y apagar los LEDs y lea la respuesta de la entrada analógica A0 y A1. Envíe la secuencia de tramas y compruebe el encendido/apagado de los LEDs.

RECUERDE COPIAR EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA LAS TRAMAS GENERADAS, ASI COMO LAS TRAMAS DE RESPUESTA DEL ROUTER,

AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPRUEBE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA COMUNICACIÓN BIDIRECCIONAL.





Ejercicio 3.7

Programe un sketch para el Arduino que vaya enviando continuamente las tramas de encendido y apagado de LEDs en intervalos de 3s. Para generar las tramas (capturadas en el XCTU en el ejercicio anterior) almacene los valores de cada trama en un array. Para enviar la trama vaya enviando los bytes, uno a uno, con `Serial1.print()`. En el array, los bytes de la trama deberán incorporarse en hexadecimal (0x) y cuando se envíen con el `Serial1.print(tramaON[i],0)` debe añadirse el carácter de formato 0 para que envíe por el XBee los bits correspondientes al byte hexadecimal. Otra opción es utilizar `Serial1.write()` en lugar del `Serial1.print()`.

Utilice como punto de partida el sketch "ARD_P2-5". Recuerde utilizar en el sketch las direcciones de su XBee y generar las tramas con el XCTU para que se obtenga el checksum correcto (tramas generadas en el ejercicio 3.6).

RECUEDE COPIAR EL CÓDIGO EN EL DOCUMENTO DE SU MEMORIA Y UNA CAPTURA DE PANTALLA DEL MONITOR SERIE.

AVISE AL PROFESOR PARA QUE COMPROBÉE EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA COMUNICACIÓN BIDIRECCIONAL.

```
int tramaD2OFF[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x32, 0x04, 0x2D};  
int tramaD2ON[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x32, 0x05, 0x2C};  
int tramaD3OFF[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x33, 0x04, 0x2C};  
int tramaD3ON[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x33, 0x05, 0x2B};  
int tramaD4OFF[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x34, 0x04, 0x2B};  
int tramaD4ON[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x34, 0x05, 0x2A};  
int tramaA0[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x30, 0x02, 0x31};  
int tramaA1[20]={0x7E, 0x00, 0x10, 0x17, 0x01, 0x00, 0x13, 0xA2, 0x00, 0x40, 0x9A, 0xCB, 0xE7, 0xFF, 0xFE, 0x02, 0x44, 0x31, 0x02, 0x30};
```

```
COM3
Enviar

7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 30 0 74
Trama ADC A1 LDR
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 31 2 30
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 31 0 73
7E 0 16 92 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 1 1 0 1C 3 0 0 3 45 0 CE B7
Trama LED D2 ON
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 32 5 2C
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 32 0 72
Trama LED D3 ON
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 33 5 2B
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 33 0 71
7E 0 16 92 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 1 1 0 1C 3 0 C 0 18 0 CE DB
Trama LED D4 ON
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 34 5 2A
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 34 0 70
Trama LED D2 OFF
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 32 4 2D
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 32 0 72
Trama LED D3 OFF
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 33 4 2C
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 33 0 71
7E 0 16 92 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 1 1 0 1C 3 0 10 0 58 0 CE 97
Trama LED D4 OFF
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 34 4 2B
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 34 0 70
Trama LED D2 ON
7E 0 10 17 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 FF FE 2 44 32 5 2C
7E 0 F 97 1 0 13 A2 0 40 9A CB E7 82 BC 44 32 0 72
 Autoscroll  Mostrar marca temporal Nueva linea 9600 baudio Limpiar salida
```