

Robot de reconocimiento y exploración. Sistema de adquisición de parámetros ambientales.

Jesús Sergio Artal y José Luis Montañés

Departamento Ingeniería Eléctrica. Escuela de Ingeniería y Arquitectura EINA.

Universidad de Zaragoza, Campus Río Ebro. María de Luna nº 3.

Edificio Torres Quevedo, 50018. Zaragoza, Spain.

E-mail: jsartal@unizar.es. Tfno: 976 762823.

Abstract—El objetivo del presente documento ha sido desarrollar un sistema de adquisición de datos, destinado a un grupo de pequeños robots móviles autónomos, para recoger y almacenar las diferentes variables físicas y ambientales adquiridas durante su exploración. La realización de un TFG aplicado, en el ámbito de las ingenierías, permite la evaluación de habilidades, destrezas y competencias adquiridas por los estudiantes. Además la resolución de un problema real permite incrementar el grado de motivación e implicación de los estudiantes durante su ejecución. Desarrollar y controlar elementos robóticos de forma local o remota siempre ha supuesto un claro ejemplo de motivación adicional sobre los estudiantes. Así durante su desarrollo los estudiantes pueden poner en práctica numerosas bases teóricas de una forma amena y divertida. En este documento se presenta una aplicación electrónica novedosa, de actualidad y con un coste reducido.

Keywords—*Data Acquisition System, Autonomous Mobile Robot, Drone, Rescue Robot, Robotic Exploration, Reconnaissance Robot, Sensors.*

I. INTRODUCCIÓN

La robótica presenta retos en el diseño de robots móviles como la navegación, orientación y cooperación. En entornos tales como edificios o aulas es fácil analizar y simular el comportamiento de estos modelos. Ahora bien en espacios naturales abiertos donde los objetos son desconocidos y móviles (personas, vehículos, estructuras...) la dinámica relativa a su navegación y nivel de interacción con el entorno cambian debido a las dificultades e incertidumbres del terreno. Los robots de exploración y reconocimiento son una clase especial de dispositivos móviles autónomos utilizados en ocasiones para la detección de variables medioambientales en campo abierto o incluso en operaciones de búsqueda y rescate, desastres naturales o simplemente como elementos de análisis e inspección. En este tipo de aplicaciones las características más destacadas es poseer un pequeño volumen, sencilla y rápida maniobrabilidad y flexibilidad.

En este documento se presenta una plataforma de adquisición de parámetros ambientales incorporada sobre el chasis de un grupo de pequeños robots móviles autónomos. El prototipo desarrollado introduce diversos tipos de sensores utilizados para la medida de magnitudes físicas. El desarrollo de este tipo de robots puede resultar útil en educación, ya que







proporciona un amplio abanico de posibilidades para desarrollar tareas académicas con los estudiantes [1]. Tanto a nivel de hardware (mecánica del robot, electrónica, autonomía energética, implementación de múltiples sensores,...) como a nivel de software (teoría de control, toma de decisiones e inteligencia artificial, sistemas de navegación y orientación del robot, programación de los diferentes μ Ps, posicionamiento y localización, interacción y trabajo colaborativo entre múltiples robots,...). En los últimos años el diseño e implementación de robots móviles ha estado formando parte de los proyectos final de carrera PFCs y trabajos fin de grado TFGs de los estudiantes en las diferentes ramas de ingeniería [2].

La robótica es un área de conocimiento que ha sido testigo de increíbles avances en las últimas décadas. De este modo, algunos tipos de robots móviles han sido diseñados para el entretenimiento o para desarrollar diferentes tareas domésticas diarias como por ejemplo aspirar el suelo o limpiar la piscina, etc. En la actualidad con la miniaturización de la electrónica y el incremento en la potencia de cálculo de los μ Ps, la investigación se ha centrado en el diseño de robots más pequeños [3], a menor coste y en la cooperación de grupos de robots [4]. Así este documento se centra en una aplicación de código abierto y bajo coste que permite a estudiantes y entusiastas en general profundizar en el área de la robótica y mecatrónica.

Varios autores, Artal et al. [2], Valera et al. [5] y Yue Li et al. [6], etc. coinciden en que la utilización de pequeños experimentos como herramienta docente universitaria suponen un incremento en el grado de motivación del estudiante. Considerándose como elementos útiles en la mejora de la docencia y en particular de las competencias y capacidades del futuro ingeniero. En este sentido el documento aquí presentado muestra una serie de circuitos para su posterior implementación. Así el estudiante puede observar los fenómenos básicos y principios de funcionamiento de los diferentes dispositivos utilizados.

Entre las diferentes categorías de sensores que integran el sistema se puede apreciar el sensor de humedad P-14, el sensor de temperatura LM35DZ, el sensor de presión atmosférica SCC15A, sensor de luminosidad TSL230, indicador de nivel de CO TGS2442, sensor de H₂ TGS821,... Se ha desarrollado el hardware necesario para la lectura de las diferentes variables por parte del μ C. Al mismo tiempo el μ C efectúa las oportunas

TABLA I. Comparación de diferentes plataformas de robots móviles de bajo coste.

Robot comercial	Roomba iRobot Create	k-Team Hemisson	Idmind Circular GT	Lego Mindstorms	Surveyor SRV-1	TraxBot
						
Precio	195€	275€	250€	380€	275€	470€
Dimensiones	Ø=340mm	Ø=120mm	Ø=150mm	145*97mm	120*100mm	200*225mm
Altura h	90mm	70mm	60mm	61mm	80mm	125mm
Peso	3400g	200g	200g	350g	460g	2000g
Material chasis	Plástico	Aluminio	Plástico	Plástico	Aluminio	Aluminio
Arquitectura Procesador	Atmega168	Microchip PIC16F877	Microchip PIC16F877	ARM 7	Analog Devices Blackfin BF537	Arduino Uno Atmega328
Velocidad	20MHz	20MHz	20MHz	40MHz	500MHz	16MHz
Capacidad µC	20MIPS	5MIPS	5MIPS	30MIPS	1000MIPS	
Comunicación	RS-232 USB	Serie DB9 conector		Bluetooth USB	Wireless 802,11b/g	Zigbee Wifi 802,11b/g
Velocidad desplazamiento	50cm/s	10cm/s		10cm/s	50cm/s	95cm/s
Batería	Ni-MH	Ni-MH	Alcalina AA	Li-ion	Li-Poly	Ni-MH
Tensión alimentación	14,8V	8,4V	6V	9V	7,2V	9V
Autonomía	4h	2h	2h	4h	3h	3h
Otros Periféricos y Sensores	Temperatura. Detector obstáculos y desniveles.	6*Detector de obstáculos. 8*sensor de infrarrojos.	7*Detector de obstáculos infrarrojos.	Acelerómetro. Sensor táctil. Sensor luz y Ultrasonidos.	Cámara RGB 1,3Mpixel	3*Detector de obstáculos.

correcciones considerando las variaciones con respecto a la temperatura u otras dependencias (variables conocidas) con el objetivo de disminuir el rango de dispersión.

Con objeto de conseguir las coordenadas geográficas de la ubicación del robot y facilitar así su navegación y orientación, se ha utilizado un dispositivo GPS-41ML (Rf-Solutions). De igual modo con objeto de dotar al robot explorador de autonomía se ha implementado un circuito de aplicación destinado al control del transceptor comercial de radio frecuencia FM-RXQ1-433RF (módulo RF) que maneja una frecuencia de operación de 433,92MHz, ver figura 1.

II. PLATAFORMAS ROBÓTICAS

En la actualidad existen diferentes plataformas comerciales en el mercado para diseñar proyectos de robótica a nivel educativo. Como por ejemplo: Lego Mindstorm NXT, Kilobot, Khepera, Roomba iRobot, Parallax SumoBot, Surveyor, Idmind Circular GT, MicroVGTV, J-Bot Robot, Bebob Mobile Robot, etc. (la lista resulta interminable). Todos los robots mencionados se encuentran disponibles en el mercado en forma de kits educativos para su posterior montaje. En las Tablas I y II se recoge una breve comparación de las especificaciones más relevantes entre algunas plataformas robóticas de bajo coste. En el caso del presente documento se ha tomado como punto de partida el chasis de un robot ya existente (denominado Teseo) desarrollado íntegramente en un trabajo previo. La filosofía de trabajo ha sido la reutilización y reciclaje de

materiales provenientes de equipos obsoletos y ya en desuso, con objeto de disminuir el coste del prototipo, ver figura 1.

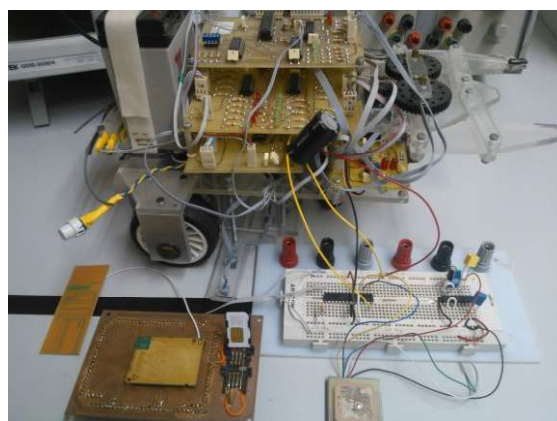




Figura 1. Prototipo de robot móvil autónomo junto con el sistema de orientación y navegación, módulo GPS-41ML.

Numerosos autores Valera et al. [5], Araujo et al. [7] y Cruz-Martín et al. [8] muestran las ventajas que suponen desde el punto de vista docente la incorporación de tareas académicas centradas en la robótica y mecatrónica en la enseñanza universitaria. De este modo presentan diferentes plataformas y robots móviles que han utilizado o diseñado junto con sus características más relevantes. La adaptación de los estudiantes a estos nuevos sistemas de enseñanza-aprendizaje también han sido variables a considerar.

TABLA II. Comparación de diferentes plataformas de robots móviles de bajo coste.

Robot comercial	PrintBot Evolution bq	Arduino Robot	SumoBot Parallax	RP6v2 Robotic Vehicle	Kuman Sm5 Th Robot	ActivityBot Robot
						
Precio	100€	150€	130€	200€	300€	200€
Dimensiones	180*115mm	Ø=185mm	100*100mm	172*128mm	264*240mm	100*145mm
Altura h	100mm	85mm	100mm	50mm	240mm	115mm
Peso	375g	515g	500g	1100g	2100g	490g
Material chasis	Metacrilato y PLA	Plástico	Plástico	Plástico	Aluminio	Aluminio
Arquitectura Procesador	Freaduino ATmega328P	Atmel AVR ATmega32u4	Microchip PIC16C57C-20	ATmega32	Atmel AVR ATmega32u4	Propeller P8X32A
Velocidad	16MHz	16MHz	20MHz	8MHz	16MHz	12MHz
CPU Speed µC	16MIPS	16MIPS	10MIPS	8MIPS	16MIPS	20MIPS
Comunicación	Bluetooth microUSB	USB I2C, SPI	RS-232	USB I2C	USB Wifi	USB serial port
Velocidad desplazamiento	12cm/s	10cm/s	15cm/s	25cm/s	55cm/s	45cm/s
Batería	Alcalina	Ni-MH	Alcalina AA	Ni-MH AA	Li-ion	Ni-MH AA
Tensión alimentación	12V	5V	6V	9V	12V	7,5V
Autonomía	4h	2h	2h	4h	4h	4h
Otros Periféricos y Sensores	2*LDR Sensor IR + ultrasonidos. Zumbador	5GPIO + 6PWM Área expansión 5*sensor IR	2*Detector IR Área expansión	2*Detector obstáculos. 2*Sensor luz. 2*Bumper.	2*Sensor IR + ultrasonidos. Cámara 720P Área expansión	microSD 18GPIO ADC 12bits XBee

El desarrollo de competiciones de robots también es otra forma de difundir la robótica como disciplina de conocimiento y permite motivar a los estudiantes. De esta forma Ciarnoski et al. [9], Hernández-Barrera [10] junto con Benavidez et al. [11], describen la experiencia docente de desarrollar tareas académicas con robots. También se indica como construir un pequeño robot de Sumo mientras se presentan varias estrategias para implementar el control.

Otros autores en cambio Asama et al. [12] y Loh et al. [4] plantean estrategias para que grupos de pequeños robots tengan capacidad de interactuar entre si y puedan desarrollar diferentes labores cooperativas. De este modo estudian situaciones donde múltiples robots móviles pueden colaborar con objeto de salvar diferentes obstáculos (caso Forklift robot) o incluso transportar determinadas cargas sin conexión rígida (caso Bebob mobile robot).

El desarrollo de robots móviles autónomos para labores de búsqueda y rescate en entornos hostiles también sigue siendo una línea de investigación que atrae a jóvenes investigadores. Así algunos autores como Lin et al. [13], Reddy et al. [14] y Liu et al. [15] plantean nuevos chasis, configuraciones novedosas y sistemas de tracción más robustos para operar en ambientes peligrosos y de difícil acceso.

La exploración robótica con drones o robots móviles sigue siendo una línea de trabajo que atrae a multitud de estudiantes y curiosos en general. La literatura recoge también las

aportaciones a este tema de gran número de autores. Así por ejemplo Peng et al. [16], Latscha et al. [17] o Gifford et al. [18] presentan diferentes prototipos híbridos de robots, aéreos y terrestres, destinados a diferentes tareas de reconocimiento y exploración.



Figura 2. Prototipo de placa PCB con los diferentes sensores y actuadores que conforman la aplicación.

Por otro lado, en la actualidad están surgiendo un abanico de dispositivos robóticos destinados a aplicaciones específicas y muy concretas. Así Kim et al. [19] presenta un robot móvil y autónomo destinado a la exploración e inspección de tuberías y lugares de difícil acceso. Schmidt et al. [20] muestra una serie

de prototipos de robots destinados a tareas de construcción, mantenimiento e inspección de grandes estructuras verticales, profundizando sobre su tecnología y diseño. Mientras Zhao et al. [3] presenta el desarrollo de un robot terrestre en miniatura con tan sólo 25g de peso, que se desplaza mediante pequeños saltos.

III. MÓDULO DE SENSORES. MEDIDA DE LOS PARÁMETROS MEDIOAMBIENTALES

El módulo de los sensores está conformado por los circuitos de acondicionamiento de señales, los múltiples transductores y el μC encargado de la captura, análisis y almacenamiento de las diferentes variables. Así la misión de esta tarjeta es adquirir la información procedente de los sensores a intervalos de tiempo regulares y almacenarla en una memoria E2PROM externa de 64kbits (Microchip 24LC65) a través del puerto I2C. Posteriormente este conjunto de datos son descargados de forma tabulada al ordenador, mediante un módulo de comunicaciones.

A continuación se describe brevemente algunos de los sensores utilizados en el sistema de adquisición de datos junto con los sistemas de acondicionamiento de señales aplicados. La figura 2 muestra el prototipo PCB desarrollado que integra diversos tipos de sensores utilizados para la implementación de la experiencia y destinados a medir diferentes magnitudes físicas. Entre las diferentes categorías que integran el sistema podemos apreciar el sensor de humedad relativa P-14, el sensor de temperatura LM35DZ o el sensor de presión atmosférica SCC15A.

A. Sistema μC .

El núcleo central de las tarjetas de adquisición de datos desarrolladas son los μC s de MicroChip PIC16F876 y PIC16F88. Ambos dispositivos poseen un precio reducido, siendo opciones excelentes para el desarrollo de aplicaciones de bajo coste. Además pertenecen a la misma gama media de μC s, por lo que comparten modos de operación, formas de configuración y recursos de programación. Este hecho ha permitido simplificar y agilizar el desarrollo del sistema.

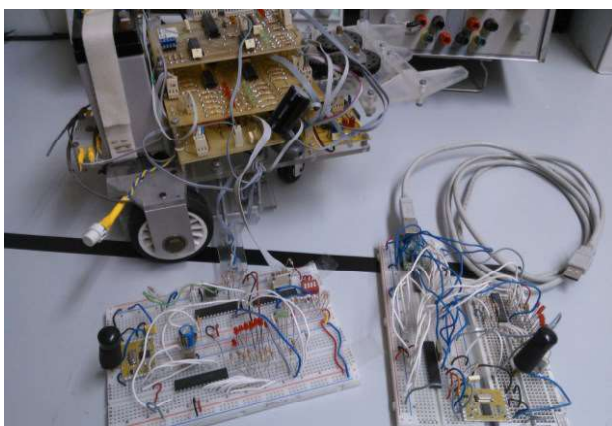


Figura 3. Implementación del sistema de comunicaciones por radio frecuencia en un Robot Móvil Autónomo.

La elección del PIC16F876 como núcleo central de la aplicación ha sido tomada por el número de terminales GPIO disponibles, ver figura 4. Este μC es el cerebro del módulo de expansión y comunica mediante protocolo I2C (ejerce de maestro del bus) con el reloj de tiempo real DS1307 y una memoria externa 24LC65 destinada al almacenamiento de la información. Además este bus I2C permite la comunicación y captura de información procedente del sensor de aceleración MEMSIC MXC6202. Este dispositivo es un acelerómetro de 2 ejes que posee en su interior un sistema completo de procesado de información y medida con interface de comunicaciones I2C. La Tabla III muestra algunas de las características más relevantes de los diferentes μP utilizados en la aplicación.

TABLA III. Especificaciones de los diferentes μP s.

Device	PIC16F876	PIC16F88	PIC18F2580
Max. Operating Frequency	20MHz	20MHz	40MHz
Cost	4,90€	2,20€	4,17€
CPU Speed (MIPS)	5	5	10
FLASH Program Memory (14bit)	8K	4K	32K
Data Memory SRAM (bytes)	368	368	1536
Data Memory EEPROM (bytes)	256	256	256
GPIO	22	16	24
ADC 10bits	1 (5 channels)	1 (7 channels)	1 (8 channels)
Comparators	2	2	0
Timers 8/16bit	2/1	2/1	1/3
USART	Yes	Yes	Yes
I2C	Yes	Yes	Yes
CCP (PWM)	2	1	1

El μC PIC16F88, a través de este bus I2C, es el encargado del volcado de la información almacenada en la memoria a la tarjeta de comunicaciones por radiofrecuencia (emisor). La tarjeta receptora de radiofrecuencia conectada al PC mediante el puerto USB es la encargada de traspasar los datos recibidos al ordenador, ver detalles en la figura 3. Los datos pueden ser fácilmente visualizados mediante un programa de gestión del puerto serie como el software Hércules o el propio Hyperterminal de Windows.

B. Sensor de Humedad Relativa.

El sistema de medida de humedad está constituido por el sensor de humedad relativa P-14 de tipo capacitivo. Este sensor posee una buena linealidad y baja histéresis (<1,5%). El principio de funcionamiento de este sensor está basado en la variación de capacidad de un condensador de placas paralelas; donde su constante dieléctrica ϵ es función de la humedad ambiente. El dieléctrico está constituido por una delgada película de polímero, de forma que sus propiedades dieléctricas dependen de la cantidad de agua absorbida. De este modo cuando cambia la humedad relativa alrededor del sensor, cambian sus propiedades dieléctricas y también la capacidad del sensor. Así para el rango de valores de humedad relativa comprendidos entre $0\% \leq RH \leq 100\%$ la capacidad del sensor varía en el intervalo $142\text{pF} \leq C \leq 167\text{pF}$. Este sensor posee una rápida respuesta, buena linealidad y un bajo coeficiente de temperatura.

De este modo aprovechando la respuesta casi-lineal del sensor, curva capacidad (pF) versus humedad relativa (%), se

ha obtenido un sistema cuya frecuencia es función de la humedad relativa. La salida del circuito acondicionador de señal -oscilador- proporciona una señal cuadrada cuya frecuencia es función de la humedad relativa ambiental (%HR). Esta información es enviada por el μC para ser procesada posteriormente.

Para adquirir estos valores se ha utilizado el modo captura del Timer1 en el módulo CCP1 (captura, comparación y PWM) del μP , ver figura 4. Este modo de operación captura el valor del Timer1 en un registro interno cuando tiene lugar el evento configurado en la entrada RC2 del μP . El temporizador se reinicia después de cada captura (lectura de 16 flancos de señal de entrada). El valor base de este temporizador es de $1\mu s$. De igual manera en función de la información obtenida por el sensor, se activará un diodo led donde su tiempo de encendido " t_{ON} " es función del valor de humedad relativa ambiental.

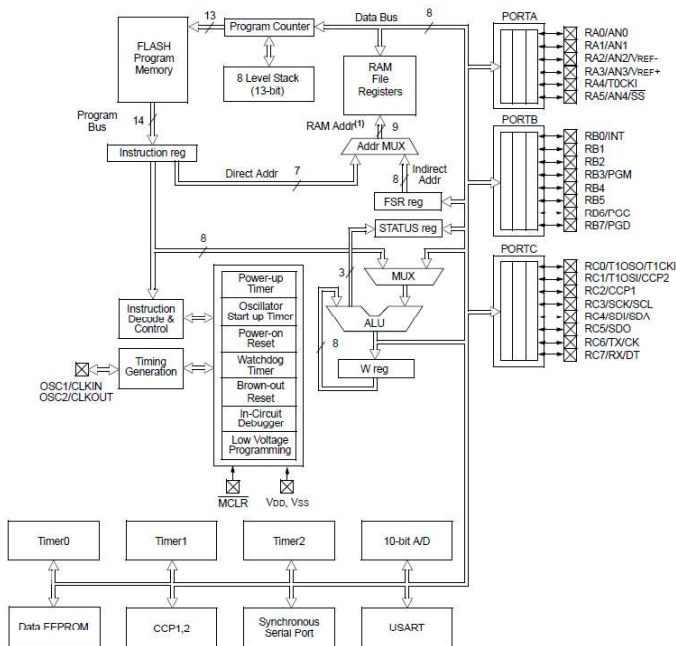


Figura 4. Diagrama de bloques y diferentes registros del μC PIC16F876.

C. Sensor de Temperatura.

El sistema de medición de la temperatura ambiente está compuesto por el sensor LM35DZ. El dispositivo proporciona una tensión de salida lineal proporcional a la temperatura $V_{OT} = k_T \times T$, siendo la constante $k_T = 10mV/^\circ C$. Así pues a temperatura ambiente $T = +25^\circ C \rightarrow V_{OT} = 250mV$. De este modo para una variación de temperatura comprendida dentro del intervalo de operación del sensor $-55^\circ C \leq T \leq +150^\circ C$ se obtiene un rango de valores de tensión de salida del sensor, en modo diferencial, entre $-0,55V \leq V_{OTd} \leq +1,50V$.

Este dispositivo no requiere ninguna calibración externa para proporcionar precisiones típicas de $\pm 0,5^\circ C$ a temperatura ambiente y $\pm 0,75^\circ C$ sobre el rango completo de temperatura. La lectura de la tensión V_{Od} es efectuada mediante el convertor A/D de 10bit del μP . El tiempo mínimo de conversión es $54\mu s$ approx. ($f_{Clock} = 4MHz$). El valor de temperatura T obtenido del

muestreo es almacenado en la memoria externa como parte entera y decimal.

En el caso que la temperatura alcance un valor superior al prefijado, el μC activa un diodo led rojo a modo de flag de señalización, que actúa como alarma de control. Un relé activa un ventilador en función de los datos recibidos (valores superiores a una temperatura límite de referencia), ver figura 2.

D. Sensor de Presión Atmosférica.

La medida de la presión atmosférica es una de las variables medioambientales más comunes. El sensor SCC15A (fabricado por Honeywell) es un sensor de presión absoluto (psia) de bajo coste. Este dispositivo tiene una referencia de vacío interna y una tensión de salida proporcional a la presión aplicada. Su rango de medida varía desde 0 a 15psi que equivalen a una variación $0atm \leq P \leq 1atm$. El fabricante indica en las especificaciones del sensor que posee una sensibilidad de $2mV/psi$, lo que se traduce en un valor máximo de tensión de salida $V_{OP} \leq +30mV$. Según el fabricante el circuito equivalente interno del sensor SCC15A se puede asemejar a un puente de Wheatstone. De acuerdo a las indicaciones proporcionadas por el proveedor para obtener una respuesta quasi-lineal del dispositivo, se ha introducido en el sensor una corriente constante de $i_p = 1,5mA$ con objeto de observar las variaciones de presión.

El sensor de presión SCC15A proporciona una salida en modo diferencial, de modo que es utilizado un amplificador de instrumentación como sistema de acondicionamiento de señal. La ganancia adicional incorporada por el amplificador INA114 permite que el canal ADC del μC (10bits) pueda capturar la variable sin problemas.

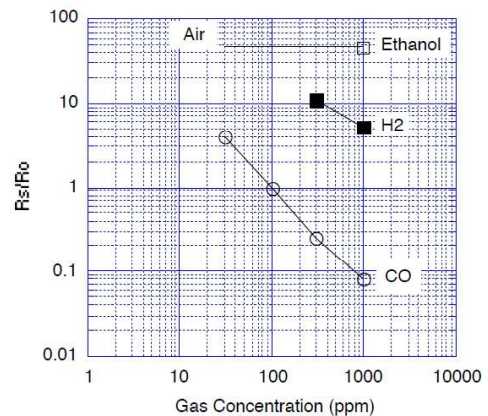


Figura 5. Curva de sensibilidad típica del sensor de CO TGS 2442 proporcionada por el fabricante (condiciones standart $+25^\circ C$ y $50\%RH$).

E. Sensores de Hidrógeno, Metano y CO.

Detectar la existencia de gases nocivos para la salud o inflamables puede ser una especificación importante en un sistema de exploración y reconocimiento. Así pues, se han tenido en consideración la medida de monóxido de carbono, metano e hidrógeno. El fabricante Figaro proporciona una amplia gama de sensores de gases de bajo consumo, alta sensibilidad, larga vida y reducido coste. Estos elementos están destinados a aplicaciones como detectores domésticos de gases,

controladores de calidad de aire, reguladores de ventilación de garajes, etc. De este modo se ha optado por los siguientes modelos: TGS2442 (monóxido de carbono), TGS2611 (metano) y TGS821 (hidrógeno) ya que cumplen con las especificaciones de bajo coste impuesto al prototipo.

El fabricante indica <http://www.figarosensor.com> que en esta gama de sensores de gases, el material sensible a la variación de la concentración del gas es el SnO₂. Como el comportamiento de todos ellos es muy similar, nos vamos a centrar en explicar el sensor TGS2442. En esta gama de dispositivos la resistencia del sensor y la concentración del gas se pueden expresar de la siguiente forma:

$$R_s = A[C]^{-\alpha} \quad (1)$$

Donde, R_s es la resistencia del sensor, C es la concentración del gas, α es la sensibilidad (pendiente de la curva de R_s) y A es una constante. La figura 5 representa la curva de sensibilidad del sensor TGS2442. El eje Y indica un ratio de la resistencia del sensor R_s/R_0 ; siendo R_s la resistencia del sensor para las diferentes concentraciones de gas y R_0 es la resistencia del sensor a 100ppm de CO. Mientras que el eje X muestra la concentración de gas (ppm).

Para la utilización de este tipo de sensor de gas el fabricante propone el circuito básico de medida de la figura 6, así como el proceso de obtención del valor de concentración de CO en ppm. La excitación del circuito se aplica de acuerdo a un diagrama de tiempos proporcionado en las hojas de características del dispositivo. Así el sensor requiere de un calentamiento previo del SnO₂. El tiempo de calentamiento se consigue mediante la aplicación de un pulso (complementario a V_H) en la base del transistor BJT PNP, ver figura 7. La medida de la concentración de gas se obtiene introduciendo el pulso V_C en la base del transistor BJT NPN. El μC por medio de sus salidas digitales es el encargado de controlar el modo de operación del sensor de gas.

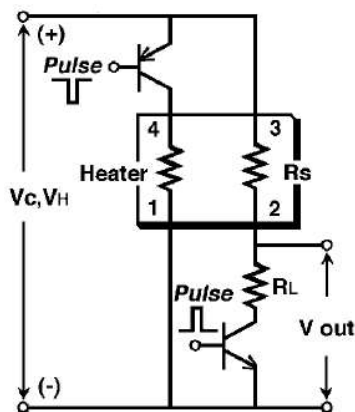


Figura 6. Circuito básico de medida proporcionado por el fabricante para el sensor de CO TGS 2442.

La tensión obtenida V_0 , procedente del divisor de tensión conformado por R_s y R_L , es adquirida por el canal ADC del μC para su posterior procesamiento. Es posible obtener el parámetro α a partir de la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{\log(\beta)}{\log(300) - \log(100)} \quad (2)$$

El coeficiente β viene dado por el fabricante a través de la clasificación del sensor (tipo A); en nuestro caso el parámetro β adquiere un valor de $\beta = 0,285$. Así el coeficiente α es equivalente a $\alpha = 1,1425$. Con lo cual el valor de la concentración vendrá dada por,

$$C = 100 \left[\frac{R_s}{R_0} \right]^{-1/\alpha} \quad (3)$$

donde R_0 hace referencia al valor que posee la resistencia del sensor cuando está sometido a una concentración de 100ppm de CO. De acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante este valor se corresponde a $R_0 = 12,1k\Omega$.

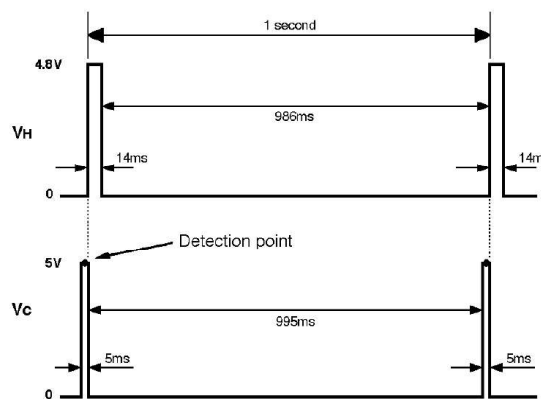


Figura 7. Diagrama de pulsos correspondiente a la detección del nivel de CO en el sensor TGS 2442.

F. Sensor de Luminosidad.

Para conocer la luminosidad se ha utilizado un sensor conversor de intensidad de luz a frecuencia, sin la necesidad de incluir componentes discretos externos. Así el dispositivo seleccionado ha sido el sensor TAOS TSL230R que proporciona un tren de pulsos con frecuencia directamente proporcional a la intensidad de luz. Su sensibilidad puede ser combinada entre tres rangos de valores ($\times 1$, $\times 10$, $\times 100$), proporcionando dos décadas de ajuste. Lo que permite una respuesta óptima del dispositivo para un nivel de iluminación predeterminado. De igual modo resulta sencilla la selección del fondo de escala de la frecuencia de salida f_0 del sensor.

Para la captura de la frecuencia de salida se hace uso del modo de captura del Timer1 del módulo CCP1 (captura, comparación y PWM) interno del μC . De este modo nos proporciona en un registro interno el valor alcanzado por el Timer1 (16bits), tomando como base del temporizador 1 μs . De este modo se adquiere el tiempo que transcurre entre varios flancos ascendentes de la señal con objeto de incrementar la precisión en la estimación de la frecuencia f_0 .

G. Corrección de Parámetros.

Los fabricantes de sensores, en sus hojas de características, proporcionan una serie de diagramas que recogen las

dependencias de las variables fundamentales con respecto a otros parámetros como la temperatura (T) o humedad relativa (%RH), ver figura 8. Estas gráficas tienen por objeto proporcionar una mayor precisión en las medidas efectuadas. Así la obtención de esta ecuación matemática que recoge el comportamiento del sensor en función de la temperatura ha permitido su introducción en el μP . De este modo ha resultado sencilla la incorporación de coeficientes de compensación sobre las diferentes medidas realizadas por los sensores.

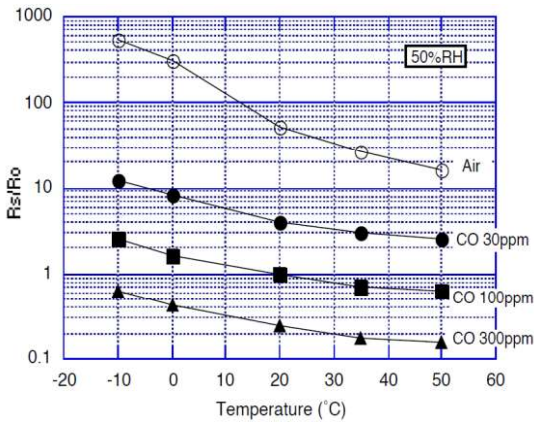


Figura 8. Ejemplo de curva de sensibilidad típica del sensor de CO TGS 2442. Dependencia de la Temperatura (T) y Humedad Relativa (%RH).

IV. SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR RADIO-FRECUENCIA

Se ha implementado un circuito de aplicación destinado al control del transceptor comercial de radiofrecuencia FM-RXQ1-433RF distribuido por Rfsolutions (módulo RF) que maneja una frecuencia de operación de 433,92MHz, ver figura 9. El circuito está constituido por el transceptor FM comercial, una pequeña antena para emisión-recepción (1/4 Wavelength Compressed Helical Antenna 433MHz) y por un μC MicroChip PIC16F876 que gobierna el módulo RF. En este supuesto para realizar el intercambio de datos no es necesario hacer uso de ningún periférico interno especial del μP .



Figura 9. Módulo de Radio-Frecuencia utilizado para el desarrollo de la aplicación, FM-RXQ1-433RF.

El módulo de radiofrecuencia es controlado por el μC por medio de tres pines de salida, que son necesarios para llevar a cabo la configuración del dispositivo en la comunicación. Así la selección del canal -pin Channel Select- correspondiente a la frecuencia 433,92MHz ó 434,33MHz es conectado al terminal RA0 del PIC. A través de sus salidas RA1 y RA2 se efectúa la selección del modo de funcionamiento (Emisor, Receptor, o Stand-by) del módulo RF -terminales TX/RX Select-. Mientras que los paquetes de información recibidos por el módulo RF

-disposición modo Receptor- son enviados hacia el μP por medio del terminal RX Data (entrada pin RA4). De igual forma, la información emitida por el módulo RF -disposición modo Emisor- es enviada por el PIC (salida RA3) a través del pin TX Data.

Gracias a la configuración efectuada por el fabricante, el manejo del módulo RF se simplifica notablemente. De esta manera, tras ser alimentado a +5V y completada su rutina de inicialización el módulo se encuentra preparado para funcionar de forma automática en alguno de los tres modos de operación posibles. La selección del modo de funcionamiento se realiza con los terminales RX/TX Select según el estado de sus niveles lógicos. Con solo TX Select en estado bajo (TX Select = low \rightarrow Emisor), se encuentra en modo emisor. Con solo RX Select en estado bajo (RX Select = low \rightarrow Receptor) actúa en modo receptor, mientras que si ambos terminales se sitúan a nivel bajo, (TX Select = RX Select = low \rightarrow Stand-by) se encuentra en estado suspensión.

En la configuración Emisor, previa selección de la frecuencia de emisión, no es necesario ningún protocolo predeterminado para el envío de paquetes de información. Básicamente el módulo transmite por FM codificado el estado en que se encuentra el terminal TX Data, lo que disminuye la dificultad a la hora de realizar una comunicación.

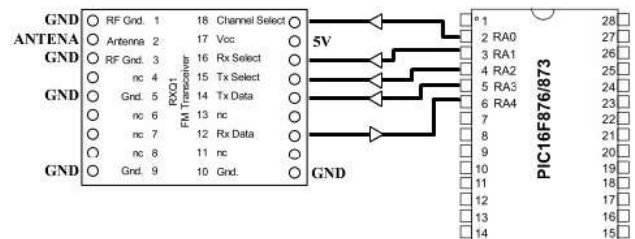


Figura 10. Conexión sencilla entre el módulo de Radio-Frecuencia FM-RXQ1-433RF y el μP PIC 16F876.

En disposición de Receptor, el módulo RF decodifica y remite al PIC el conjunto de señales recibidas en la frecuencia seleccionada. En el circuito de aplicación -ver figura 10- el μP se ha programado para filtrar las señales, comprobando los flancos de subida y bajada así como el tiempo transcurrido entre ambos. Las pruebas experimentales desarrolladas han revelado que se trata de un sistema de filtrado robusto y fiable ante las perturbaciones ocasionadas. Indicar también que cuando un módulo está en estado emisor siempre envía información (estado alto o bajo) ocupando el canal de comunicación creado.

Debido al protocolo elegido para la transmisión de paquetes de datos, no es preciso el uso de los puertos especiales de comunicación integrados en el PIC 16F876. Aunque ello no impide el uso de los mismos si se considera necesaria una transmisión serie asíncrona. En este supuesto, la comunicación de los datos del dispositivo de radiofrecuencia debe realizarse por medio del módulo interno USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) integrado en el μP . Al mismo tiempo, este módulo USART debe ser configurado para realizar una comunicación serie asíncrona.

V. CONCLUSIONES

La realización de un TFG aplicado, en el ámbito de las ingenierías, permite la evaluación de habilidades y competencias adquiridas por los estudiantes a lo largo de su periodo universitario. De este modo se incrementa el grado de motivación e implicación durante su desarrollo. En este documento se ha presentado el diseño y construcción de un prototipo de robot móvil autónomo de reconocimiento destinado a la adquisición de parámetros ambientales. Para ello se ha desarrollado una plataforma de adquisición de datos que incluye múltiples sensores de variables medioambientales. Del mismo modo, con objeto de mejorar la orientación y navegación del robot se ha incluido un módulo GPS de geo posicionamiento.

La filosofía de trabajo ha sido la reutilización y reciclaje de materiales provenientes de equipos obsoletos y ya en desuso, lo que ha disminuido el coste del prototipo. Así durante su desarrollo los estudiantes pueden poner en práctica numerosas bases teóricas de una forma amena y divertida. Desarrollar y controlar elementos robóticos de forma local o remota siempre ha supuesto un claro ejemplo de motivación adicional sobre los estudiantes. En este documento se ha presentado una aplicación electrónica novedosa y de actualidad. El objetivo no es otro que mostrar al estudiante la utilidad de la teoría presentada en el aula con un caso práctico-real y contrastar los resultados de aprendizaje.

La experiencia de innovación docente aquí presentada es económicamente sostenible, eficiente y transferible a otras materias o disciplinas de conocimiento, puesto que los medios utilizados para su implementación son de uso generalizado dentro de la comunidad educativa. La metodología implementada ha contribuido a mejorar el aprendizaje del estudiante, favoreciendo un tipo de aprendizaje más autónomo y significativo. Al mismo tiempo proporciona al alumno una dinámica de trabajo que le permite adquirir las herramientas necesarias para seguir formándose a lo largo de su vida (Lifelong Learning).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda financiera concedida por la Universidad de Zaragoza para el desarrollo del presente trabajo, a través del Programa de Innovación Docente para grupos de profesores (PIIDUZ). Convocatoria 2015/16, línea 1: Aplicar metodologías activas que supongan una mejora del proceso enseñanza-aprendizaje, desarrollar experiencias de innovación docente apoyadas en las nuevas tecnologías, con el objetivo de mejorar el diseño curricular de las asignaturas y mejorar las metodologías y recursos asociados. Referencia PIIDUZ_15_019.

REFERENCIAS

- [1] Artal J.S., Caraballo J. and Bandres R. "Incorporation of mobile phones in small robotics applications like educational tool". *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE 2012)*. IEEEExplore Digital Library. 13-15 June 2015. Vigo (Spain); pp. 181-186.
- [2] Artal J.S., Caraballo J. and Dufó R. "DTMF technology applied to the identification and control of a small mobile robot". *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE 2014)*. IEEEExplore Digital Library. 11-13 June 2014. Bilbao (Spain); pp. 01-06.
- [3] Zhao J., Yan W., Xi N., Mutka M.W., and Xiao L. "A miniature 25 grams running and jumping robot". *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2014)*. IEEEExplore Digital Library. 01-07 June 2014. Hong Kong. Pages: 5115 – 5120.
- [4] Loh C.C. and Traechtler A. "Cooperative Transportation of Aload Using Nonholonomic Mobile Robots". *Procedia Engineering*. Elsevier ScienceDirect, Volume 41, 2012, Pages 860-866.
- [5] Valera A., Soriano A. and Vallés M. "Low-Cost Platforms for Realization of Mechatronics and Robotics Practical Works". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*. Elsevier ScienceDirect. Volume 11, Issue 4, October–December 2014, Pages 363-376.
- [6] Yue Li, Qiang Huang, Junyao Gao, Liancun Zhang and Ye Tian. "A novel semi-autonomous throwbot for reconnaissance application". *10th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA2012)*. IEEEExplore Digital Library. 6-8 July 2012. Beijing. Pages: 3822 – 3827.
- [7] Araújo A., Portugal D., Couceiro M, Sales J. y Rocha R.P. "Desarrollo de un robot móvil compacto integrado en el middleware ROS". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*. Elsevier ScienceDirect. February 2014. Volume 11, pp. 315-326.
- [8] Cruz-Martín A., Fernández-Madrigal J.A., Galindo C., González-Jiménez J., Stockmans-Daou C. and Blanco-Claraco J.L. "A LEGO Mindstorms NXT approach for teaching at Data Acquisition, Control Systems Engineering and Real-Time Systems undergraduate courses". *Computer&Education*. Elsevier ScienceDirect. Volume 59, march 2012; page(s): 974-988.
- [9] Ciarnoscki P.F., Hoffmann K. and Scortegagna R.G. "Improvement of a mobile autonomous robot to participate in sumo competitions". *24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2015)*. IEEEExplore Digital Library. 03 June 2015. Buzios (Brazil); pp. 633-637.
- [10] Hernández-Barrera A. "Teaching introduction to robotics: Using a blend of problem- and project-based learning approaches". *IEEE SOUTHEASTCON 2014*. IEEEExplore Digital Library. 13/16 March 2014. Lexington (Kentucky); pp. 01-05.
- [11] Benavidez P., Gleinser C., Jaimes A., Labrado J., Riojas C., Jamshidi M. and Endowed L.B. "Design of semi-autonomous robots for competitive robotics". *World Automation Congress (WAC 2012)*. IEEEExplore Digital Library. 24-28 June 2012. Puerto Vallarta (Mexico); pp. 01-06.
- [12] Asama H., Sato M., Goto N., Kaetsu H., Matsumoto A. and Endo I. "Mutual Transportation of Cooperative Mobile Robots using Forklift Mechanisms". *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. IEEEExplore Digital Library. Minneapolis, Minnesota. April 1996; pp. 1754 to 1759.
- [13] Lin Xiaolong, Wang Haiyang, Wei Yangtao, Duan Jinchao and Zhao Yu. "Design of a wireless obstacle-crossable exploration robot". *27th Chinese Control and Decision Conference (CCDC2015)*. IEEEExplore Digital Library. 23-25 May 2015. Qingdao, China. Pages: 4860 – 4864.
- [14] Reddy A.H., Kalyan B. and Murthy Ch. S.N. "Mine Rescue Robot System – A Review". *Procedia Earth and Planetary Science*. Elsevier ScienceDirect. Volume 11, 2015, Pages 457-462.
- [15] Liu J., Ma B.Y., Fry N., Pickering A., Whitehead S., Somjit N., Richardson R.C. and Robertson I.C. "Exploration Robots for Harsh Environments and Safety". *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier ScienceDirect. Volume 48, Issue 10, 2015, Pages 41-45.
- [16] Peng A., Zhou Y., Hu J. and Ou Y. "Mechanical design for wheel/track transform mobile platform-search and rescue robot". *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2014)*. IEEEExplore Digital Library. 5-10 December. Bali. Pages: 1787 – 1792.

- [17] Latscha S., Kofron M., Stroffolino A., Davis L., Merritt G., Piccoli M. and Yim M. "Design of a Hybrid Exploration Robot for Air and Land Deployment (H.E.R.A.L.D) for urban search and rescue applications". IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014). IEEEExplore Digital Library. 14-18 September. Chicago, IL, pp 1868 to 1873.
- [18] Gifford C.M., Webb R., Bley J., Leung D., Calnon M., Makarewicz J., Banz B. and Agah A. "A novel low-cost, limited-resource approach to autonomous multi-robot exploration and mapping". Robotics and Autonomous Systems. Elsevier ScienceDirect. Volume 58, Issue 2, 28 February 2010, Pages 186-202.
- [19] Jong-Hoon Kim, Gokarna Sharma and S. Sitharama Iyengar. "FAMPER: A fully autonomous mobile robot for pipeline exploration". IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT2010). IEEEExplore Digital Library. 14-17 March 2010. Vina del Mar. Pages: 517 – 523.
- [20] Schmidt D. and Berns K. "Climbing robots for maintenance and inspections of vertical structures—A survey of design aspects and technologies". Robotics and Autonomous Systems. Elsevier ScienceDirect. Volume 61, Issue 12, December 2013, Pages 1288-1305.