

# Diseño e implementación de un sistema de control automático programable para aplicaciones de telemetría, telecontrol y posicionamiento vía satélite

(Recibido: 29/04/2016; Aceptado: 07/07/2016)

Carreres, D.<sup>(1)</sup>; Suardíaz, J.,<sup>(1)</sup>; Puyosa, H.<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad Politécnica de Cartagena.

(2) Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Politécnica de Cartagena.

C/Doctor Fleming s/n, Cartagena, Murcia, España.

Teléfono: 968325548

email: dcarrpri@gmail.com

**Resumen.** Existen diversas situaciones en las que se precisan de sistemas de control a fin automatizar determinados procesos o desempeñar tareas concretas. Por ello se plantea el diseño e implementación de un módulo hardware programable por medio de un Smartphone con posibilidad de ser configurado por el usuario conforme a sus necesidades de una manera simple y sin precisar de conocimientos en programación o automática. El sistema es fácilmente orientable a diversas tareas tales como domótica, control y seguridad, gestión de invernaderos, automóviles así como sistema de adquisición de datos y Tracker GPS (Google Earth) y labores relacionadas con las "Smart City".

**Palabras clave.** Automatización; GPS, GSM-GPRS; Telemetría; Smart-Cities.

**Abstract.** Several situations demand control systems to automate certain processes or perform specific tasks. Therefore, a Smartphone with option to be easily configured, according to the user's needs, without requiring a deep knowledge of programming or automation, poses the design and implementation of a programmable hardware module. The system is easily adjustable to several tasks commonly performed in different industrial fields like automation, control and safety, management of greenhouses, automotive industry, and data acquisition system and GPS Tracker (Google Earth) and work related to the "Smart City".

**Keywords.** GPS, GSM-GPRS, Automation, Telemetry, Smart-Cities.

## 1. Introducción

Los continuos avances tecnológicos han permitido desarrollar multitud de equipos y dispositivos destinados a realizar tareas concretas de forma cada vez más eficientes. Sin embargo, presentan la desventaja de requerir conocimientos previos para su correcta utilización y configuración, como es el caso de los autómatas programables [1][2], los reguladores industriales tipo PID [3][4] o los sistemas de regulación y control industrial basados en microcontroladores [5] o dispositivos lógicos reconfigurables como las FPGA's. Estos equipos están destinados a un público con una formación muy técnica, por lo que se reduce en cierta medida el acceso a la mayoría de usuarios.

Asimismo, en aquellas situaciones donde las características del dispositivo comercial no sean suficientes para poder cubrir las necesidades presentes y futuras del usuario, no es posible acometer modificaciones en ellos a fin de poder extender o mejorar sus funciones (o al menos, poder hacerlo de una forma sencilla), obligando al usuario a tener que adquirir otros dispositivos complementarios para poder cubrir las carencias que el dispositivo original no ha cubierto, con riesgo de la infrutilización de la capacidad de los mismo.

Por ello, se plantea el diseño e implementación de un sistema integrado configurable por el usuario mediante una aplicación para Smartphones y

mediante un navegador web, para la realización de un número casi ilimitado de tareas distintas, mediante la combinación de diversos sensores y actuadores presentes en el sistema, así como otros periféricos de comunicación y adquisición presenten en el mismo, tales como: GPS, Wi-Fi™, GSM-GPRS™, Almacenamiento Flash y conectividad por Radiofrecuencia.

## 2. Funcionamiento del Sistema

El sistema se compone de dos módulos hardware independientes comunicados entre sí mediante un enlace de radiofrecuencia operando en la banda de los 2.4 GHz a 2 Mbps para el intercambio bidireccional de información: el Módulo Principal y Estación.

El Módulo Principal (Fig.1) es el núcleo del sistema, encargado de recibir todas las órdenes del usuario y de transmitir las si procede a la Estación (Fig.2) correspondiente. El módulo principal presenta una capacidad de conexión de hasta un máximo de 35 periféricos, entendiéndose como tales sensores y actuadores, los cuales podrán ser gestionados de dos formas: (1) controlando el estado de los mismos por medio de órdenes directas por parte del usuario, o bien (2) mediante la programación de múltiples tareas independientes, proporcionando una mayor flexibilidad a la hora de orientarlo a cualquier escenario. Esto permite que al cumplimiento de alguna condición por parte de los dispositivos de entrada, se ejecuten determinadas acciones de forma

consecutiva que pueden ir desde el accionamiento de los dispositivos de salidas (conectados físicamente al Módulo Principal o a cualquiera de las Estaciones), hasta la adquisición de datos y envío de los mismo, pasando por labores relacionadas con la localización geográfica, como por ejemplo, ejecutar acciones en caso de encontrarse dentro o fuera de una determinada área geográfica o región de interés definida por el usuario.

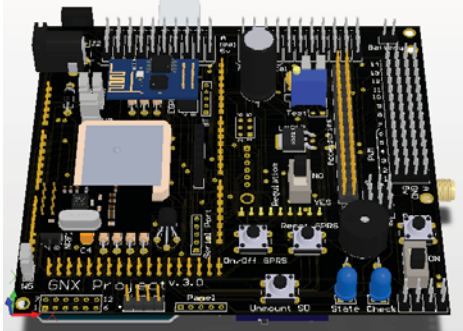


Fig. 1. Módulo Principal.

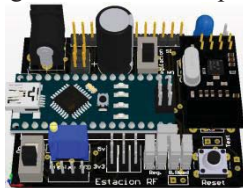


Fig. 2. Estación.

En el flujo de información necesario para programar y controlar el dispositivo, se emplean un sistema de tramas alfanuméricas de 15 caracteres que proporciona toda la información que precisa el sistema para operar. En la Tabla 1, se recoge un ejemplo de la composición de la trama “123402020180000” donde indicamos que genera un pulso modular de 5V de amplitud y periodo de 2.1ms a través del Pin 1 del Módulo Principal.

Tabla 1. Sistema de Tramas alfanuméricas.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Contraseña	E/S	Modo	Pin	Condición	Valor 1	Valor 2								
1234	0	2	0	2	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0

Dependiendo del contexto en el que se envíe dichas tramas, éstas se almacenarán en una memoria EEPROM o únicamente en SRAM. Esta diferencia lo marca el quinto carácter de la trama. Cuando este carácter toma el valor lógico ‘1’, indica que se está tratando de configurar un conjunto de acciones al cumplimiento de una determinada condición por parte de algún dispositivo de entrada, pudiendo establecerse diversas configuraciones distintas sobre un mismo periférico. Para ello se envía en primer lugar la trama de configuración del sensor (Cabecera del Sensor) seguido de cada una de las acciones que se desea asociar al cumplimiento de dicha condición, procediendo a enviar de forma automática la siguiente trama “xxxx3200000000” denominada “Trama de clausura” indicando el fin de la programación de la tarea.

Las tareas a ejecutar se descomponen en bloques de menor tamaño y se almacenan en orden de ejecución en la EEPROM, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Representación estructurada de las acciones programadas en la EEPROM.

	0	1	2	3	4	5
	E/S	Modo	Pin	Cond	Valor 1	Valor 2
Bloque 1	1	0	0	0	900	0
	0	11	0	0	0	0
	2	0	0	0	2	0
	0	12	0	0	0	0
Bloque 2	1	2	1	1	28	0
	0	8	0	0	0	0
	0	10	0	0	0	0
	2	1	0	0	100	0

El sistema lee constantemente las condiciones de cada una de las cabeceras del sensor hasta que detecta el cumplimiento de una condición. Acto seguido, ejecuta las acciones asociadas al cumplimiento de la misma.

### 3. Componentes Hardware

#### 3.1. Hardware Módulo Principal

El Módulo Principal está gobernado por un microcontrolador ATmega2560, fabricado por la empresa Atmel™ que consta de 256 kBytes de memoria flash, 8 kBytes de SRAM y 4 kBytes de memoria EEPROM y opera a una frecuencia de 16 MHz, con un total de 86 entradas/salidas, de los cuales 16 son convertidores analógico digitales (ADC) de 10 bits de resolución.

Para lograr el control por parte del usuario, el sistema dispone de tres modos de comunicación: Wi-Fi™, 3G y SMS. Esto es posible gracias al software disponible de un Módulo GSM-GPRS y un módulo inalámbrico Wi-Fi™.

La comunicación GSM-GPRS se logra por medio del chip SIM900™ fabricado por SIMCOM™. Es un módulo cuatribanda GSM de 850-1900MHz y GPRS multi slot clase 10/8 estación móvil clase B, con una potencia de transmisión 2W@850/900 MHz controlado por medio de comandos AT para operaciones sockets TCP/IP. Para poder operar con él se precisa de una tarjeta SIM con un Access Point Name (APN) para establecer una conexión a internet y poder realizar tareas propias de un GSM (envío de SMS, llamadas, etc.). El control del sistema por medio de 3G se realiza a través de un servidor remoto FTP que almacena de forma temporal las tramas que se desean enviar, tanto procedente del usuario como del Módulo Principal en forma de telemetría.

La comunicación Wi-Fi™, se logra gracias al integrado ESP8266 v1.0 que soporta el protocolo 802.11 b/g/n, Wi-Fi Direct (P2P) y cuenta con un procesador integrado de 32 bits con un alcance de 300 m en abierto. El dispositivo permite simultáneamente conectarse a una red inalámbrica existente para poder recolectar información de

internet y crear su propia red para lograr una comunicación directa con el usuario, tanto por medio de la aplicación para Smartphone como con el navegador web, ingresando en la dirección IP: 192.168.4.1

El módulo cuenta con la posibilidad de registrar la posición satélite del mismo y almacenarla si así desea el usuario en un dispositivo flash removible. Para ello se emplea el módulo GPS EM-411 basado en el chip SiRF Star III™ que opera a una frecuencia de 1575.42 MHz con una tasa de readquisición de 0.1 s. Aunque se puede calcular la posición del sistema mediante triangulación de las antenas de telefonía por medio del módulo GSM-GPRS, el error de precisión que se comete es de  $\pm 1.2$  Km.

Para lograr la comunicación entre el Módulo Principal y las distintas Estaciones remotas, se emplea un sistema de radiofrecuencia de medio alcance basado en el módulo transceptor NRF24L01 que opera a 2.4GHz con un rango entre 50-80 m en abierto. Este módulo no permite establecer comunicación simultáneamente con más de un dispositivo a la vez. Por ello, el sistema cambia en cada ciclo la frecuencia para poder conectarse a las Estaciones que se encuentren disponibles, para que estas reciban en tiempo de ejecución las tareas y/o acciones inmediatas del usuario, pasando primero por el Módulo Principal en forma de tramas.

### 3.2. Hardware Estación

El otro grupo que compone el sistema del control lo constituyen unos dispositivos remotos de reducidas dimensiones controlado por un microcontrolador ATmega328p de Atmel™ que consta de 32 kBytes de memoria flash, 2 kBytes de SRAM y 1 kBytes de memoria EEPROM y opera a una frecuencia de 16 MHz.

Estos dispositivos soportan la conexión de un máximo de diez periféricos y constan únicamente de módulo transceptor de radiofrecuencia NRF24L01. Permiten ampliar el número de entradas/salidas a gestionar por el sistema y eliminan la necesidad de una conexión física con el Módulo Principal evitando así pérdida de señal en su transporte.

El estado de todos los periféricos conectados a cada una de las Estaciones son enviados cuando el Módulo Principal iguala su frecuencia para cada Estación en cada ciclo de reloj.

## 4. Componente Software

El sistema se puede controlar por medio de una aplicación desarrollada para dispositivos Android™ (Fig.3 a), el cual ofrece las siguientes opciones:

- **Conectar:** Permite seleccionar el modo de conectividad a emplear: Wi-Fi, 3G, SMS, proporcionando mayor versatilidad al sistema.
- **Favoritos:** Posibilita la creación de accesos rápidos a acciones a realizar por el módulo principal, teniendo la posibilidad de ser accionadas mediante comandos de voz.

- **Monitorizar:** Desde esta opción se pueden visualizar los datos de telemetría de todos los periféricos conectados tanto al Módulo Principal, como a cada una de las Estaciones remotas, teniendo además la posibilidad de actuar directamente sobre ellas. También se pueden visualizar los datos GPS teniendo la posibilidad de visualizarlo en Google Maps™.
- **Panel de Control:** Permite programar las tareas que el usuario desea ejecutar al cumplimiento de una determinada condición. Así mismo se puede visualizar las tramas que se van a enviar (Fig.3 b).

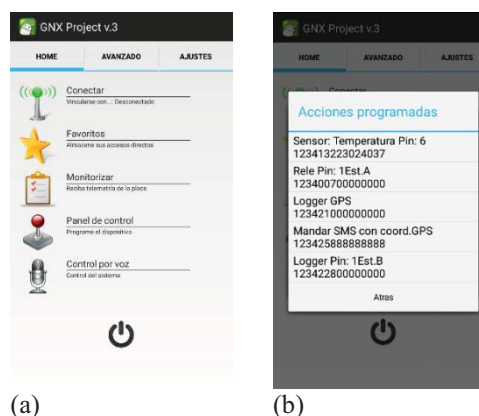


Fig. 3. Interfaz de la aplicación para Smartphone.

## 5. Ejemplo de aplicación

Dada la versatilidad del sistema se plantea un caso concreto de aplicación para poder demostrar la orientación del sistema planteado a la “Monitorización y geoposicionamiento de vehículo destinada al transporte de productos hortofrutícolas”. Durante el transporte de este tipo de producto se hace imprescindible poder conocer las condiciones de temperatura y humedad existentes, con el fin de poder garantizar el correcto mantenimiento de los productos, realizando ajustes de estos parámetros de forma automática para poder compensar posibles variaciones de los mismos. Así mismo, desde el punto de vista logístico, se hace patente la importancia de disponer de información detallada del trayecto, en términos de velocidad y posición, así como datos relativos al funcionamiento del motor, con el fin de poder optimizar la ruta y consumo de combustible.

Para poder tratar este caso, el dispositivo planteado (Módulo Principal, Fig.1), debe ser colocado en cualquier punto del vehículo, no siendo necesario que se emplace físicamente en la cámara frigorífica para poder acceder a los sensores situados en ella, dado que se puede establecer una comunicación inalámbrica por medio de un enlace de radiofrecuencia por medio de las Estaciones (Fig.2). Una vez conectados físicamente los sensores y actuadores correspondientes al Módulo Principal y/o las Estaciones, se procede a programar las acciones que se deben ejecutar al cumplimiento de

determinadas condiciones de los sensores (por ejemplo, si la temperatura supera un determinado umbral, se envíe un aviso telemático al tiempo que actúa sobre los dispositivos para compensar la variación). También puede registrar la variación de los sensores y actuadores para su posterior procesamiento.

Para lograr la comunicación remota del dispositivo se hace uso de la comunicación GSM-GPRS precisándose de una tarjeta SIM con un servicio de datos contratados. La información viajara a un servidor remoto donde se almacenará de forma temporal hasta que el usuario acceda a ella.

La posición del sistema puede ser registrada a intervalos regulares para su posterior visualización en Google Earth™.

Los datos de posicionamiento se reciben siguiendo el protocolo NMEA 0183 [6], donde son procesados y almacenados en un archivo de texto plano siguiendo una estructura concreta para su posterior procesamiento en un ordenador.

Tras su análisis, es posible manejar los datos de forma que, mediante una interfaz adecuada se pueda visualizar el recorrido registrado por el sistema en tramos de distinto color en función de la altitud tal y como se muestra en la Fig. 4.

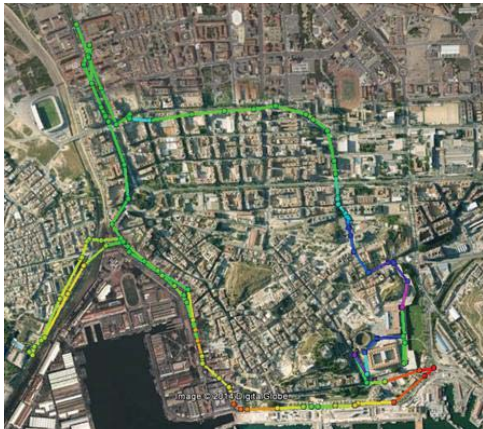


Fig. 4. Resultado de la ruta en Google Earth.

## 6. Conclusiones

El sistema planteado goza de una gran versatilidad, pudiendo adaptarse a múltiples aplicaciones por medio de una interfaz sencilla y sin precisar de ningún conocimiento de programación o automática.

Desde una perspectiva económica proporciona una solución completa por un precio inferior a 100€, con posibilidad de ampliación del número de periféricos soportados por medio de las Estaciones.

## Referencias

- [1] Jyothsna Pamala, C. Usha Rani. Automata Based Access Control Privacy Preserving in PPIB. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, vol 2 Issue 4, Septiembre 2014.
- [2] Dheeraj Pongallu, Prof. S. R. Suralkar. Automatic Multivariate Liquid Filling

System & Conveyor Control Using PLC & SCADA. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, vol 4, issue 12, diciembre 2014.

- [3] G.Karpagam, M.Nalini, G.Savithri. Differentiation of Level Process Values for Diverse PID Controller Techniques. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, vol 4 Issue 2, Febrero 2015.
- [4] Mostafa A. Fellani, Aboubaker M. Gabaj. PID Controller Design for Two Tanks Liquid Level Control System using Matlab. 2015. International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol 5(3), Junio 2015.
- [5] Ejiofor Virginia Eber, Oladipo Onalapo Francisca. Microcontroller based Automatic Water level Control System. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, vol 1 Issue 6, Agosto 2013.
- [6] Nation Marine Electronics Association.