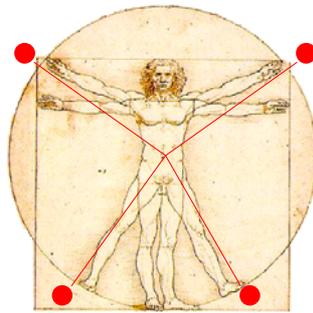


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN II . AÑO 2004

SEPARATA



CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE TELEFONÍA MÓVIL DIGITAL BASADA EN LA RED GSM

Juan Suardíaz Muro, Basil M. Al-Hadithi



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior

Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Juan Suardíaz Muro, Basil M. Al-Hadithi
Diciembre, 2004

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECELS04_004.pdf

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085
Editor: Julio Merino García tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.II. 2004.

CONTROL ELECTRÓNICO MEDIANTE TELEFONÍA MÓVIL DIGITAL BASADA EN LA RED GSM

Juan Suardíaz Muro^a, Basil M. Al-Hadithi^b,

^aDr. Ingeniero Industrial,
Departamento de Tecnología Electrónica, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales,
Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia).
Campus Moralla del Mar, 30202, Cartagena. España. Tlf.:968325380, email: Juan.Suardiaz@upct.es

^bDr. Ingeniero Industrial,
Departamento de Electrónica y Sistemas, Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X el Sabio.
Avda. De la Universidad nº1, Villanueva de la Cañada, 28691 Madrid. España. Tlf.:918105035, email:
bmal@uax.es

RESUMEN: Es conocido por todos la gran importancia que tiene actualmente el campo de las telecomunicaciones y el protagonismo que están adquiriendo los sistemas electrónicos de comunicación a distancia, ya sea a nivel de usuario particular o en el ámbito de aplicaciones industriales. Especialmente espectaculares son los avances que se están llevando a cabo en el terreno de la telefonía móvil con la aparición de nuevos sistemas de transmisión de datos a altas velocidades y multitud de nuevos servicios de comunicación multimedia.

Este artículo aporta una solución al problema del control a distancia, creando un sistema autónomo y compacto, para controlar un determinado proceso, que pueda ser fácilmente reprogramado y visualizado por el usuario final en cualquier momento y desde cualquier lugar. Para ello se establece la posibilidad de modificar los parámetros de control mediante un sencillo mensaje SMS enviado a través de un teléfono móvil, a la vez que permite al usuario recibir en su propio móvil información sobre el estado del proceso que se está ejecutando.

PALABRAS CLAVE: Telefonía Móvil, Red GSM, Control Electrónico, FPGAs, Arquitecturas Reconfigurables

ABSTRACT: : Nowadays everybody agrees with the importance of telecommunications and with the main role that remote communications electronical systems are acquiring, no matter the frctional level of application: home particular user level or industrial purpose level. Mobile communications are presenting an amazing evolution thanks to the rise of new high-speed transmission systems an a huge ammount of new multimedia communication services.

This paper presents a new solution to remote control problem, creating a compact and autonomous system, which is able of controlling a defined process and it is able of an easy re-programmation and visualization at any moment and from any location by the final user. The proposed system allows both a parameter configuration and a request of executing process' current state by means of a SMS message sent from a mobile telephone.

KEYWORDS: Mobile Teecomunications, GSM Network, Electronic Control, FPGAs, Reconfigurable Architectures.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECELS04_004.pdf

1. Introducción a la red GSM

Por definición, el término “comunicaciones móviles” (Dungan, 1996) describe cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, de los cuáles al menos uno está en movimiento o parado, pero en localizaciones indeterminadas; pudiendo ser el otro un terminal fijo, tal como una estación base. Esta definición es aplicable a todo tipo de enlace de comunicación, ya sea móvil a móvil o fijo a móvil. De hecho, el enlace móvil a móvil consiste muchas veces en una combinación de enlaces, primero móvil a fijo y después fijo a móvil. El término móvil puede referirse a vehículos de todo tipo - automóviles, aviones, trenes... - o, sencillamente, a personas paseando por las calles.

El Reglamento de Radiocomunicaciones (SETSI, 2004) (UIT, 2004) define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres (fijas) o entre estaciones móviles únicamente. Además, en función de dónde se sitúa habitualmente el terminal móvil, el Reglamento diferencia tres tipos de servicio:

- Servicio móvil terrestre.
- Servicio móvil marítimo.
- Servicio móvil aeronáutico.

Es importante destacar que al hablar de comunicaciones móviles se está pensando, generalmente, en un sistema de comunicaciones punto a punto. Aunque también es posible en algunas circunstancias efectuar comunicaciones punto a multipunto, se trata de una configuración especial del servicio que sirve a aplicaciones particulares.

Desde principios de los '80, después de que el NMT (*Nordic Mobile Telephony*) comenzase su operación comercial, se hizo evidente para algunos países europeos que los sistemas analógicos existentes tenían limitaciones. En primer lugar, la demanda potencial para los servicios móviles, aunque estaba siendo sistemáticamente subestimada, era mayor que la capacidad de las redes analógicas existentes. En segundo lugar, los diferentes sistemas existentes no ofrecían compatibilidad para sus usuarios: un terminal TACS (*Total Access Communications System*) no puede acceder a una red NMT ni viceversa. Lo que es más, el diseño de un sistema celular nuevo requiere tal inversión que ningún país europeo puede acometerla forma independiente, si el único retorno esperado está sólo en su propio mercado nacional. Todas estas circunstancias apuntaban hacia el diseño de un sistema nuevo, desarrollado en común entre varios países.

El mayor requisito para un sistema de radio común es un ancho de banda común. Esta condición se cumplía unos años antes, en 1978, cuando se decidió reservar una banda de frecuencia de dos veces 25 MHz en torno a los 900 MHz para comunicaciones móviles en Europa.

La necesidad estaba clara y el mayor obstáculo había sido eliminado. Sólo quedaba organizar el trabajo. El mundo de las telecomunicaciones en Europa siempre estuvo dominado por la estandarización. La CEPT (*Conférence Européenne des Postes et Télécommunications*) es un foro de estandarización que, en los primeros '80, incluía a las Administraciones europeas de Correos y Telecomunicaciones de más de 20 países. Todas estas circunstancias llevaron a la creación en 1982 de un nuevo organismo de estandarización en la CEPT, cuya labor consistía en especificar un sistema único de telecomunicaciones para Europa, en 900 MHz. El recién creado "*Groupe Spécial Mobile*" (GSM) tuvo su primera reunión en diciembre de 1982, en Estocolmo.

En 1990, bajo petición del Reino Unido, se añadió a los objetivos del grupo de estandarización la especificación de una versión de GSM adaptada a la banda de frecuencias de 1800 MHz, con una asignación de 2 veces 75 MHz. Esta variante que se conoció con el nombre de DCS1800 (*Digital Cellular System 1800*) tiene como objetivo proporcionar mayor capacidad en áreas urbanas.

La elaboración del estándar GSM llevó casi una década. En la tabla 1 se muestran los principales hitos del proceso.

Fecha	Logro
1982	Se crea el "Groupe Spécial Mobile" en la CEPT.
1986	Se establece un núcleo permanente.
1987	Se seleccionan las técnicas básicas de transmisión por radio, basadas en la evaluación de prototipos llevadas a cabo a lo largo de 1986.
1989	El GSM se convierte en un comité técnico de ETSI.
1990	Se congelan las especificaciones técnicas fase 1 del GSM900 escritas entre 1987 y 1990.
1991	Funcionan los primeros sistemas (exposición Telecom'91) Se congelan las especificaciones DCS1800.
1992	Los principales operadores GSM900 europeos inician la operación comercial del servicio.

Tabla 1. Principales hitos en la elaboración del estándar GSM

1.1. Arquitectura

La infraestructura básica de un sistema GSM no difiere en mucho de la estructura de cualquier red celular. La mayoría de los elementos implicados son compartidos con otros servicios.

El sistema consiste en una red de radio-células contiguas para cubrir una determinada área de servicio. Cada célula tiene una BTS (*Base Transceiver Station*) que opera con un conjunto de canales diferente de los utilizados por las células adyacentes.

Un determinado conjunto de BTSs es controlado por una BSC (*Base Station Controller*). Un grupo de BSCs es a su vez controlado por una MSC (*Mobile Switching Centre*) que enruta llamadas hacia y desde redes externas (R.T.B., R.D.S.I., etc.) públicas o privadas (Fig. 1).

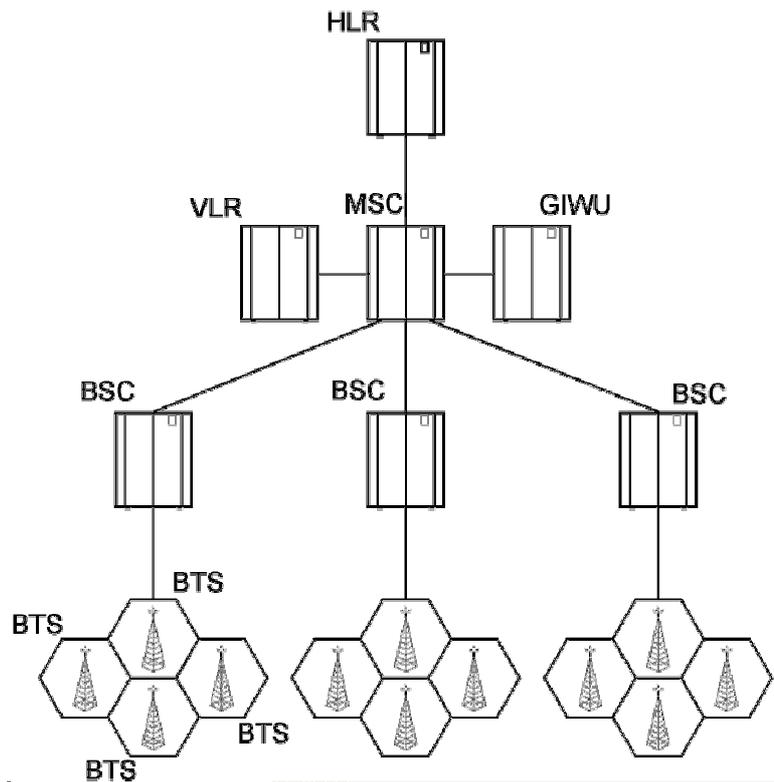


Fig. 1. Arquitectura de la red GSM

- *Base Transceiver Station (BTS)*
La función principal de una BTS es proporcionar un número de canales radio a la zona a la que da servicio. La antena puede ser omnidireccional o sectorial (se divide la célula en tres sectores, con diferentes juegos de frecuencias). Una BTS con un transceptor y con codificación "full rate" proporciona 8 canales en el enlace radio, uno de los cuales se utiliza para señalización. Con una codificación "half rate" el número de canales disponibles se duplica (16=15+1).
- *Base Station Controller (BSC)*
La función primaria de una BSC es el mantenimiento de la llamada, así como la adaptación de la velocidad del enlace radio al estándar de 64 Kbit/s. utilizado por la red. Desde el momento en que el usuario es móvil, éste puede estar cambiando con más o menos frecuencia de celda. El procedimiento por el que la llamada se mantiene en estas condiciones sin que se produzcan interrupciones importantes es el 'handover'. GSM proporciona unos tiempos de conmutación mucho más bajos que otros sistemas celulares.

En GSM, durante una llamada, la estación móvil está continuamente "escuchando" a una serie de estaciones base así como informando a la BSC de la calidad de la señal con que está trabajando. Esto permite a la BSC tomar la decisión de cuándo iniciar un 'handover' y a qué célula. La BSC controla a su vez la potencia de trabajo de la estación móvil para minimizar la interferencia producida a otros usuarios y aumentar la duración de la batería.

- *Mobile Switching Centre (MSC)*
La MSC es el corazón del sistema GSM. Es el centro de control de llamadas, responsable del establecimiento, enrutamiento y terminación de cualquier llamada, control de los servicios suplementarios y del 'handover' entre MSCs, así como la recogida de información necesaria para tarificación. También actúa de interfaz entre la red GSM y cualquier otra red pública o privada de telefonía o datos. Para soportar los servicios telemáticos, la MSC incorpora un elemento conocido como GIWU (*GSM InterWorking Unit*).
- *Home Location Register (HLR)*
El HLR contiene información de estado (nivel de suscripción, servicios suplementarios, etc.) de cada usuario asignado al mismo, así como información sobre la posible área visitada, a efectos de enrutar llamadas destinadas al mismo (terminadas en el móvil). En un esquema de numeración múltiple (*Multinumbering*)

pueden existir números adicionales (AMSISDN) dependientes de un principal (MSISDN) asociados a diferentes servicios de datos y fax, caracterizados por una serie de atributos que también quedan recogidos en esta base de datos.

- *Visitor Location Register (VLR)*

El VLR contiene información de estado de todos los usuarios que en un momento dado están registrados dentro de su zona de influencia. Esta información ha sido requerida y obtenida a partir de los datos contenidos en el HLR del que depende el usuario. Contiene información sobre si el usuario está o no activo, a efectos de evitar retardos y consumo de recursos innecesarios cuando la estación móvil esta apagada.

1.2. Situación actual del mercado de dispositivos móviles GSM

Según los expertos de Laboratorios Bell de Lucent Technologies, para el 2025, el mundo entero estará envuelto en una piel de comunicaciones. "*Ya estamos construyendo la primera capa de una megared que abarcará todo el planeta a modo de piel*", dice Arun Netravali, presidente de Laboratorios Bell. "*A medida que las comunicaciones se hacen más rápidas, pequeñas, baratas e inteligentes, en el próximo milenio, esta piel, alimentada por un flujo constante de información, crecerá y se hará más útil*". Si bien el fenómeno internet ha realizado un enorme aporte a esta denominada piel de comunicaciones, no todas las innovaciones sociológicas y tecnológicas se reducen a internet. Una de las mayores revoluciones del periodo de cambio de siglo ha sido la relacionada con la telefonía móvil, desde la primitiva analógica hasta la GSM y las nuevas generaciones (WAP, UMTS, GPRS). Todo ello ha hecho que el número de usuarios haya alcanzado en pocos años a más de la mitad de la población española (25 millones de usuarios en el año 2002).

Los terminales inalámbricos constituyen uno de los segmentos más innovadores en el mercado de las comunicaciones móviles. Fue la empresa Siemens la que en el año 1995 abrió el camino a las comunicaciones inalámbricas máquina a máquina sacando al mercado el M1, el primer módulo para comunicaciones industriales basado en el estándar de telefonía móvil GSM (Siemens, 2002). El impacto de la tecnología GSM ha originado, aparte de la comunicación habitual, otro tipo diferentes de aplicaciones. Un claro ejemplo de esto último es el servicio de pagos a través de móvil (MOBIPAY) desarrollado en España entre Telefónica Móviles, BBVA, Vodafone y BSCH, aunque cada vez más es posible de encontrar este tipo de sistemas en aplicaciones más relacionadas con la industria y la automatización, como: control de presión y bombas en estaciones de aguas; control de apertura de puertas y ventanas; detección de humo, escape de gas e inundación; climatización de ambientes; detectores de presencia e

intrusión; monitorización por cámaras IP en tiempo real; activación/desactivación de dispositivos por control remoto; rearme de diferenciales en cuadros eléctricos; reset remoto de dispositivos (centralitas, routers, etc.); control de nivel en depósitos; mantenimiento preventivo de instalaciones; fallos de red eléctrica; control de calderas de calefacción y aire acondicionado; control de temperatura en cámaras frigoríficas industriales; actuación sobre máquinas expendedoras; sistemas de telecontrol de explotaciones agropecuarias, etc (Ranchal, 2000).

Todo esto ha hecho que cada vez aparezcan más sistemas industriales que hagan uso de esta tecnología. Así por ejemplo, La empresa finlandesa Klinkmann comercializa el GSM GTBox (Klinkmann, 2004), el cual permite comunicar mediante módem GSM dispositivos PLC destinados a automatización y control, la empresa SIEMENS comercializa el sistema MicroAutomation Set 5 (Siemens, 2004), destinado también a dotar de comunicación vía GSM a dispositivos de automatización basados en PLCs. En España, la empresa COM&MEDIA comercializa producto COMYDYN (Com&Media, 2004), diseñado para la monitorización de parámetros en cualquier instalación, de forma remota, así como para el control de los dispositivos u elementos conectados a la pasarela, a través de INTERNET y/o GSM mediante la comunicación con un microprocesador de 32 bits embebido a través de un módem GSM de Sony-Ericsson (GM-29). Este artículo aprovecha toda la potencia presente en la industria, a fin de aportar una nueva solución en la que sea posible integrar en una FPGA toda la potencialidad de los micros antes comentados con la funcionalidad del controlador GSM.

La semilla que hace unos años plantó Siemens en el ámbito industrial ha germinado rápidamente y actualmente son muy diversas las propuestas de sistemas electrónicos basados en tecnología inalámbrica. Mayer (Mayer y Taylor, 2002) o Tan (Tan y Taylor, 2002) proponen sistemas SCADA basados en GSM y en un ámbito más industrial, la empresa Telemetry Inc (Telemetry, 2004), ofrece el sistema T3000, un sistema integrado de adquisición de datos basado en una infraestructura de comunicaciones digitales inalámbrica como el GSM, TDMA o CDMA.

A todo lo anterior hay que añadir la aparición de una nueva tendencia en el ámbito industrial. Hoy en día, las redes inalámbricas de sensores constituyen un área de investigación en auge, en el que se están produciendo una rápida sucesión de cambios, tanto en los sistemas hardware como en los sistemas software encargados de su implementación.

Dependiendo del tipo de aplicación, es posible hacer una distinción entre módulos y terminales. Mientras que los denominados ‘módulos’ permiten integrarse completamente en una determinada solución, los ‘terminales’ constituyen unidades independientes que es posible añadir al sistema mediante unos conectores e interfaces estandarizados, permitiendo así la creación de redes inalámbricas tipo ‘*plug and play*’ de una manera muy sencilla.

Los terminales GSM están subdivididos en cinco clases basándose en la máxima potencia con la que pueden transmitir sobre el canal radio, que varía desde un máximo de 20W a un mínimo de 0.8W. La siguiente tabla (Tabla 2) resume las características de estas cinco clases:

Clase	Potencia Máxima (W)	Tipo
1	20	Vehicular
2	8	Portátil
3	5	Palmario
4	2	Palmario
5	0.8	Palmario

Tabla 2. Clasificación de los terminales móviles

Dejando a un lado esta clasificación se pueden dividir los tipos de terminales en función del uso para el cuál han sido diseñados. Según esto se podría diferenciar entre:

- teléfonos móviles
- Módems

Ambos dispositivos comparten características. La función principal de un teléfono móvil es la transmisión de voz, aunque también existe la posibilidad de utilizarlos como transmisor/receptor de datos. Ofrece un interfaz amigable al usuario, tal como micrófono, altavoz, pantalla y teclado. Tales características hacen del teléfono móvil un instrumento ideal de uso personal.

Los módems vienen a ser equipos terminales de aplicación industrial, en los que están potenciadas las funciones de comunicación y control, para la transmisión y recepción de datos. No obstante también permiten la transmisión de voz, para su uso como teléfono, aunque esta característica no viene a ser importante. No suelen disponer de teclado ni pantalla. A cambio, su control se realiza gracias a que poseen una interfase de comunicaciones destinada a la conexión con otros equipos terminales (suele ser una

comunicación serie), cualidad que los hace idóneos para la conexión con multitud de dispositivos electrónicos como por ejemplo ordenadores o PLCs.

Una gran multitud de modelos de teléfonos GSM y módems GSM/GPRS se encuentran disponibles actualmente, ofrecidos por fabricantes importantes como Motorola, Nokia, Siemens y Sony Ericsson. Los dispositivos GSM se ofrecen en una amplia variedad de precios y funcionalidades, incluso en modelos para el segmento superior, los cuáles poseen pantallas a color y cámaras digitales incorporadas. Además, debido a que GSM es una norma abierta, cualquier proveedor puede fabricar equipos GSM. Esto pone a disposición de los operadores y clientes GSM una amplia selección de equipos y proveedores.

Tanto las redes como los servicios móviles han sufrido una fuerte evolución a lo largo de los últimos años. En sus orígenes, la principal función de estas redes y servicios era la comunicación por voz. Los esfuerzos en el campo de las comunicaciones móviles han ido dirigidos hacia la mejora de los servicios de transmisión de datos. Básicamente consiste en el aumento de las velocidades de transmisión. Hoy en día ya se puede observar una clara tendencia (Fig. 2) hacia los servicios multimedia, en la que se comparten diversos modos de comunicación (datos, imagen y sonido).

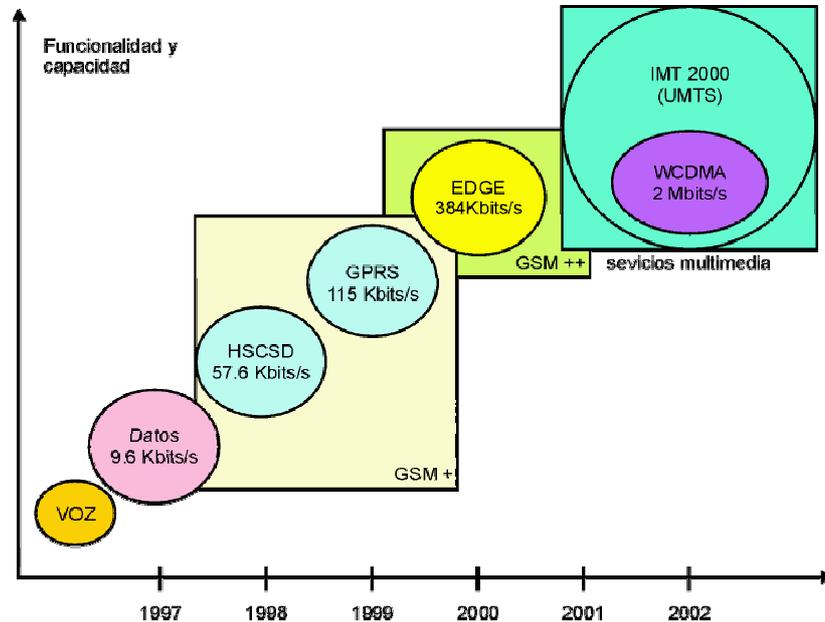


Fig. 2. Evolución de las redes móviles

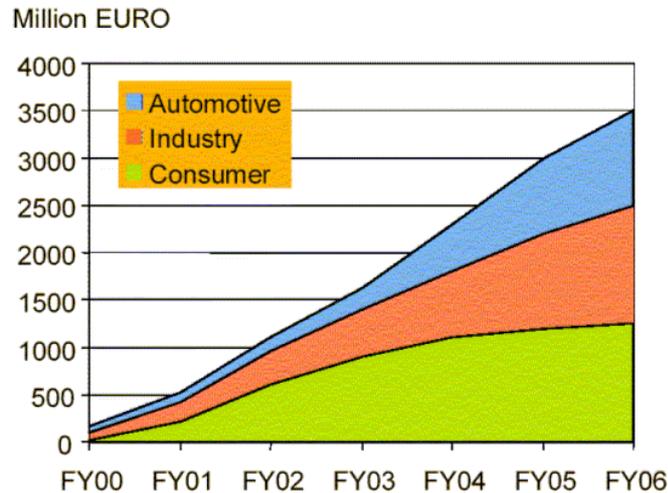


Fig. 3. Perspectivas de mercado para los sistemas de control inalámbricos

En resumen, el desarrollo de sistemas de control industrial basado en las comunicaciones inalámbricas parece consolidarse como un mercado muy prometedor; tal y como lo confirma la misma SIEMENS en un informe publicado en 2002 (Siemens, 2002), en el que, tal y como resume la figura 3, las expectativas de mercado para este tipo de productos son muy esperanzadoras. Dentro del ámbito de este tipo de aplicaciones, el segmento de los servicios de mensajería basado en mensajes cortos (SMS) constituye un segmento que ha evolucionado de forma exponencial en los últimos años (figura 4) y que a nuestro entender puede ofrecer posibilidades muy interesantes en lo que a dispositivos de control se refiere.

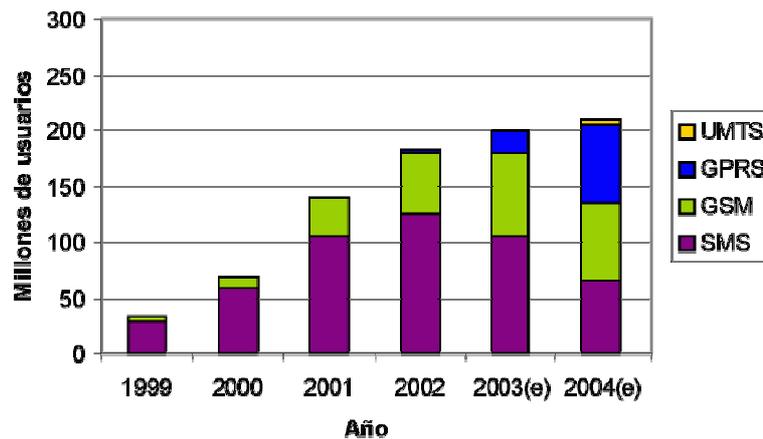


Fig. 4. Evolución del tráfico de datos en las comunicaciones móviles

Este artículo aporta una solución al problema del control a distancia, creando un sistema autónomo y compacto con funciones de telemando, telemetría y televigilancia. Los elementos esenciales de este sistema son una FPGA, donde se ha programado la lógica reconfigurable encargada de las funciones de control e interfaz de comunicaciones y un módem GSM a través del cuál el controlador está permanentemente conectado a la red, evitando la necesidad de cables de transmisión de datos y permitiendo así una telemetría y actuación a larga distancia.

2. Desarrollo de la aplicación

La aplicación que se ha desarrollado consiste en un sistema de control automático de un determinado proceso, con la posibilidad de intervenir en dicho control de forma remota, utilizando para ello un terminal GSM conectado a una red de comunicaciones.

A la hora de realizar las especificaciones, las funciones básicas que se demandaron al sistema fueron:

- Control automático de un proceso en base a unos parámetros dados.
- Visualización local de las variables del proceso.
- Operación remota:
 - Visualización de las variables del proceso.
 - Modificación de los parámetros de control.
 - Informe automático de alarmas reprogramable a distancia.

La primera función solicitada implicaba el diseño de un sistema de control en el que existan unas variables de entrada y otras de salida que posea una memoria interna en la que almacenar los parámetros de control. En base a dichos parámetros y según las variables de entrada, el sistema responderá automáticamente a través de las variables de salida.

Para poder visualizar localmente las variables del proceso, el sistema de control debe tener, a parte de las salidas correspondientes al control, unas salidas destinadas únicamente a la visualización de las entradas, lo que suponía el diseño de un módulo de visualización que reciba datos del controlador y los adapte para poder ser visualizados y entendidos fácilmente.

Para conseguir la operación a distancia son necesarios los siguientes elementos

- Red de comunicaciones operativa
- Dispositivo de comunicaciones para el acceso a dicha red
- Interfase para la comunicación entre el dispositivo de comunicaciones y el controlador del proceso.

Para la red de comunicaciones se seleccionó una del tipo de las ya existentes en el mercado. Una vez escogida la red a utilizar, fue seleccionado el dispositivo de comunicaciones para acceder a esta red. Para poder hacer uso de las funciones a distancia únicamente es necesario tener acceso al Servicio de Mensajes Cortos (SMS), lo cual es una característica común a todos los teléfonos y operadoras móviles GSM de Europa.

Conocido el dispositivo y su sistema de comunicación y control, se diseñó una interfase de comunicaciones para poder conectar a distancia con el controlador. Dadas las funciones a distancia que debe desempeñar el sistema completo, la interfase de comunicaciones debía ser bidireccional. Esto es:

- Permite solicitar datos al controlador y que éste lea en su memoria y los transmita.
- Permite enviar datos al controlador y que éste los almacene en su memoria interna.
- Y en caso de que se activen las alarmas, el controlador, de forma automática, ha de poder transmitir los datos, según haya sido programado.

El planteamiento general de la plataforma propuesta puede verse en la figura 5.

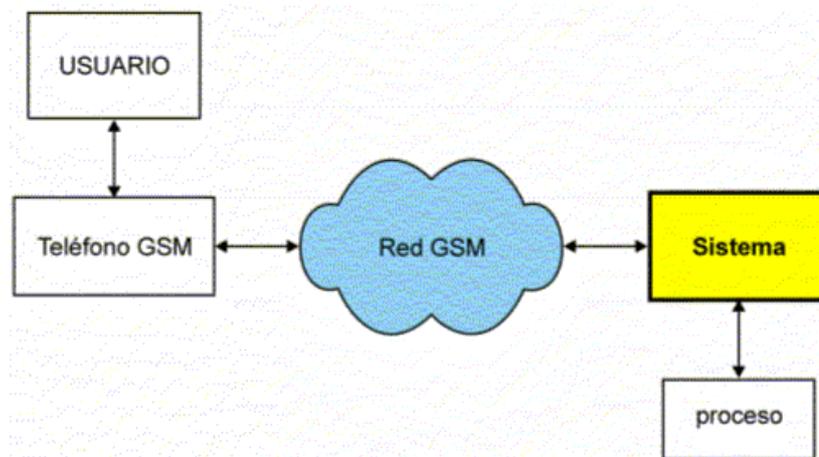


Fig. 4. Estructura general de la plataforma propuesta

3.1 Selección de los dispositivos

En este caso se ha pensado en una red de tipo inalámbrica, para conseguir una mayor flexibilidad. Debido al gran auge que presentan en la actualidad las comunicaciones móviles se ha optado por la red GSM. Ya se ha apuntado que la red GSM dispone de muchos servicios, entre los cuáles se encuentran el realizar llamadas de voz, la transmisión de texto a través del Servicio de Mensajes Cortos (SMS, *Short Message Service*) y la identificación de llamada, entre otros. Estos son los servicios de los que se va a hacer uso para establecer la comunicación entre el usuario y el sistema que se está desarrollando.

El siguiente paso es seleccionar el tipo de elemento transmisor / receptor, con el cuál se accederá a la red, es decir, el terminal móvil. Según se ha visto en capítulos anteriores existen básicamente dos tipos:

- teléfono móvil GSM
- módem GSM

Obviamente la opción del módem es preferible frente a las de teléfono móvil, principalmente por los siguientes motivos:

- El teléfono móvil es un aparato destinado al usuario, mientras que el módem presenta ciertas funciones que lo hacen más apto para aplicaciones industriales.
- El control del teléfono móvil se realiza mediante teclado, mientras el módem es controlable a través de cable o infrarrojos, lo cuál lo hace más compatible con los sistemas electrónicos e informáticos.

Centrándonos en los Módem las características más importantes a tener en cuenta a la hora de la selección de un modelo son las siguientes:

- Banda de transmisión: EGSM900, GSM1800
- Potencia
- Tipos de servicios que permite: Voz, datos, SMS, ...
- Velocidad de transmisión
- Facilidad de integración
- Tipo de interfases de comunicaciones y conexiones
- Sistema de control
- Alimentación: tensión, consumo
- Dimensiones
- Peso
- Precio

Los requisitos mínimos que ha de cumplir el módem para poder desarrollar este sistema son los siguientes:

- Cumplimiento con el estándar GSM fase 2 y fase 2+
- Ser compatible con los servicios de llamada de voz, identificador de llamadas y SMS.
- Interfaz externa RS-232
- Control mediante comandos AT

Para la elección del terminal móvil se ha consultado la página web de la empresa Xacom (Xacom, 2004) uno de los principales fabricantes y distribuidores de terminales móviles de diversas marcas.

Los diferentes productos ofrecidos vienen clasificados de la siguiente forma:

- Módems GSM-GPRS
- Módulos GSM-GPRS
- Industrial módem
- Estación base
- Módem USB GPRS
- PCMCIA GPRS
- Enlaces GSM-RTC/RDSI
- Otros

Dentro del bloque Módem GSM-GPRS se pueden encontrar los siguientes productos:

- GSM BASE
- GPRS BASE
- GPRS PLUS TCP/IP
- SIEMENS MODEM GSM TC35T
- SIEMENS MODEM MC35T

Tras un estudio comparativo de estos modelos se ha optado concretamente por el Módem Siemens MC35T, ya que cumple los requisitos mínimos que se han establecido a la vez de tener un precio moderado. Además incluye otras características no exigidas pero que pueden ser favorables, como por ejemplo:

- sistema autobaudío para la comunicación serie
- antena magnética externa independiente, con 3 metros de cable
- entradas y salidas analógicas para micrófono y altavoz
- alta compacidad

Una vez seleccionado el tipo de terminal móvil y conocido su sistema de control, la próxima tarea es el diseño del hardware necesario para la implementación del módulo controlador de proceso y la interfaz de comunicaciones para conectar con dicho módem. Se trata de implementar el sistema al completo, que dicho sistema sea autónomo y a ser posible, adoptar una solución compacta basada en un único chip. Por tanto se descarta la idea de la conexión del módem a un ordenador. A cambio, se ha optado por el uso de un dispositivo lógico programable (PLD).

Debido a la complejidad que este problema plantea, automáticamente quedan descartados los PLDs (*Programmable Logic Device*) sencillos (como PAL, GAL, etc...) siendo lo más conveniente la implementación sobre una FPGA, ya que es el único con la escala de integración suficiente como para programar todas las funciones a realizar, además de ser el más flexible ya que puede ser reconfigurada y verificada en muy poco tiempo.

Debido a la gran flexibilidad de las FPGAs no es necesario establecer muchos requisitos mínimos para poder llevar a cabo este diseño. Básicamente se podría decir que lo único imprescindible es que tenga la memoria suficiente como para almacenar la totalidad del hardware que se va a implementar. Sin embargo, en este momento no se dispone de información acerca del tamaño que ocupará el sistema porque éste aún no ha sido diseñado con detalle. Por tanto la opción más correcta sería desarrollarlo y una vez conseguido ese punto, conociendo ya el tamaño que supone, seleccionar la FPGA donde será volcado. No obstante se ha elegido una FPGA para poder empezar a implementar el diseño, confiando en que ésta será lo suficientemente grande. En caso de llegar a su límite de capacidad debería ser sustituida por otra mayor.

Se ha optado por la familia Spartan II. Y más concretamente por la FPGA XC-2S200-PQ-208. El fabricante Xilinx (Xilinx, 2004) ofrece esta FPGA montada sobre una placa de pruebas, se trata de la placa Digilab 2 (Digilent, 2004), que, además de incorporar las conexiones de alimentación, programación y oscilador, dispone de, entre otras, una conexión con adaptación de señal RS232 db9, y múltiples conectores unidos directamente a los pines de entrada/salida de la FPGA. Éstas son características que, sin duda, serán útiles, a la hora de conectar la FPGA con los dispositivos externos (como por ejemplo con el módem GSM).

Parece, en un principio, que la conexión entre ambos dispositivos se puede realizar directamente a través de un cable serie estándar con conectores db9. Sin embargo se presenta el problema de que ambos dispositivos han sido diseñados para trabajar como DCEs, es decir como receptores. Debido a ello ambos poseen un conector db9 hembra.

Por este motivo no pueden ser conectados directamente a través de un cable serie estándar, ya que éste consta de un conector macho en un extremo y un conector hembra en el otro.

Una comunicación serie asíncrona bidireccional se puede simplificar a tres líneas de conexión: GND, TXD y RXD. Dichas líneas se corresponden con los pines 5, 3 y 2 respectivamente del conector db9. Por lo tanto, en esta fase del diseño es necesario realizar un cable serie con conectores db9 macho en ambos extremos, teniendo en cuenta que se está estableciendo una conexión entre dos DCEs y por tanto es necesaria la permutación de las líneas de transmisión y recepción de datos (TXD y RXD).

El esquema que se propone para la realización del cable es el mostrado en la figura 5.

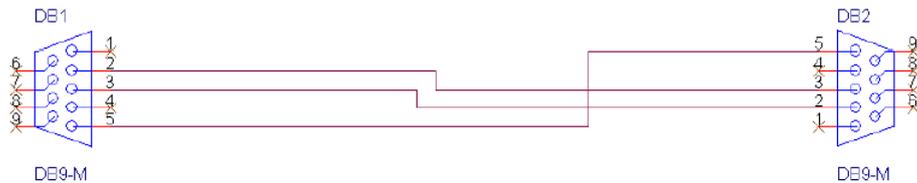


Fig. 5. Cable serie DCE-DCE

En conclusión, la figura 6 muestra cómo queda la conexión de los elementos seleccionados.

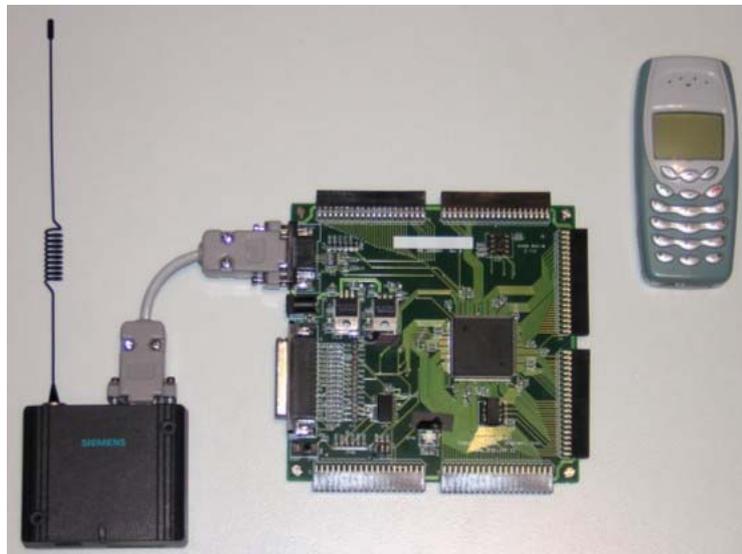


Fig. 6. Aspecto final de la plataforma hardware

3.2 Diseño del controlador hardware

Sobre la FPGA seleccionada en el apartado anterior, se ha implementado la arquitectura de control esquematizada de forma general en la figura 7. Para ello se ha hecho uso de herramientas informáticas de diseño, simulación y síntesis destinadas a la configuración de dispositivos lógicos programables y como método de programación hardware, el lenguaje VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*) (IEEE, 1994).

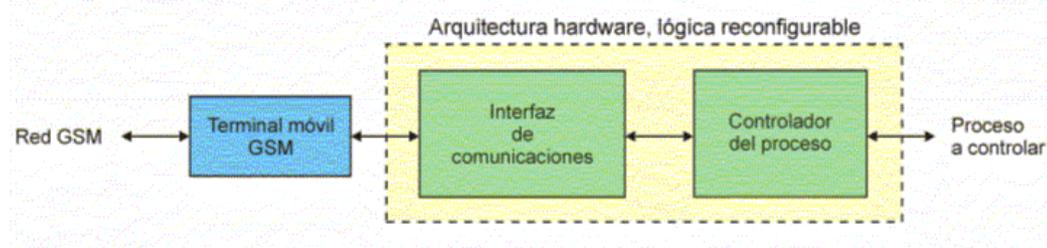


Fig. 7. Estructura general de la arquitectura hardware diseñada.

Una descripción más detallada esta arquitectura puede verse en la figura 8, donde se muestra, de forma simplificada, el flujo de información entre los diferentes submódulos que forman el sistema lógico.

En primer lugar, es necesario el diseño de un convertidor serie-paralelo/paralelo-serie, para poder establecer la comunicación con el módem. Esta es la finalidad del módulo 'UART' (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*).

Los comandos AT consisten en cadenas de caracteres transmitidos en código ASCII, finalizadas por el carácter de RETURN. Para poder trabajar con éstos de forma sencilla se ha añadido el módulo 'Codificador de Comandos' y el módulo 'Decodificador de Comandos'. El primero de ellos se encarga de leer sucesivamente los caracteres recibidos, interpretar el comando formado por dichos caracteres y asignarle un código numérico. El módulo 'Decodificador de Comandos' realiza la función inversa: recibe un código numérico, lo asocia con una cadena de caracteres y envía dichos caracteres secuencialmente. De esta forma con un único número se pueden hacer referencia a todos estos comandos y otras cadenas de caracteres que se van a utilizar.

Como su nombre indica, la función del módulo 'Convertidor Números=>Caracteres' es transformar números binarios en los caracteres correspondientes asociados a los dígitos en sistema decimal, teniendo en cuenta que serán transmitidos en código ASCII.

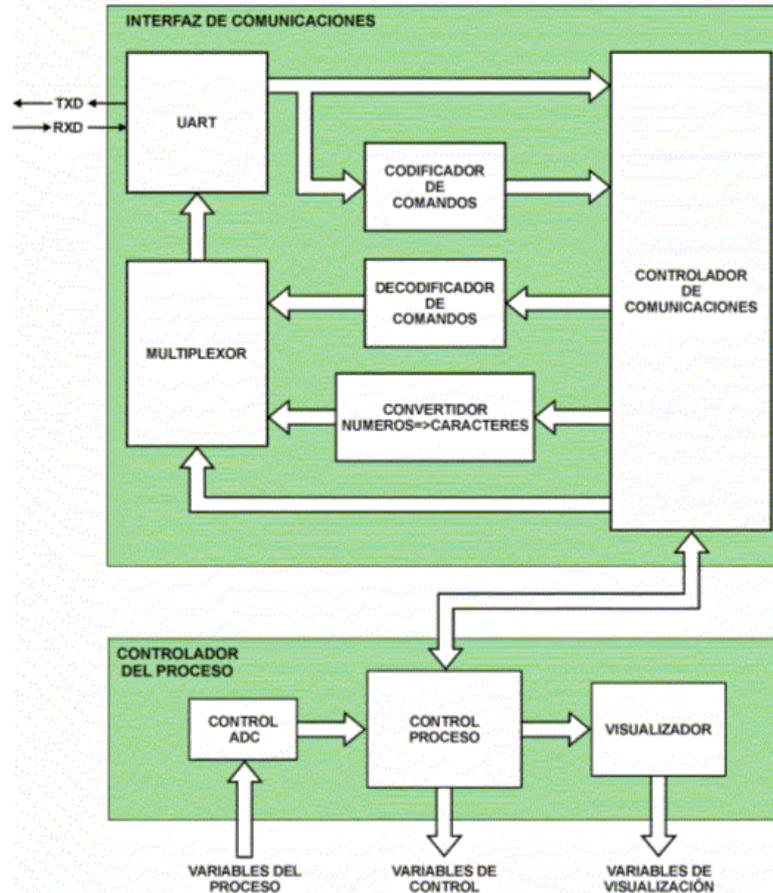


Fig. 8. Estructura hardware detallada en los submódulos VHDL constituyentes.

Dado que es posible enviar caracteres a la UART a través de varios módulos, se ha colocado un módulo 'Multiplexor' con el fin de seleccionar en cada momento cuál es el módulo que va a transmitir, evitando de esta manera conflictos o colisiones de información. El módulo 'Controlador de Comunicaciones' es, sin duda, el bloque más complejo y a la vez importante de todo el sistema que constituye la interfaz. Se encarga de gestionar y procesar el tráfico de información entre el módem GSM y el controlador del proceso. Dispone de diversos puertos de entrada/salida con el fin de poder comunicar con el resto de bloques del sistema. Entre otras funciones, es capaz de configurar el módem GSM, dar la orden de realizar una llamada de teléfono, redactar un SMS y dar la orden de envío, y leer e interpretar un SMS recibido y actuar en consecuencia.

La misión del módulo ‘Control ADC’ es gestionar las señales de un convertidor analógico/digital (AD) externo, encargado de muestrear las variables del proceso (o variables de entrada). El módulo ‘Visualizador’ es el encargado de convertir datos de código binario a código de 7 segmentos para poder visualizarlos en displays de 7 segmentos.

Una vez muestreadas las entradas, es necesario analizarlas para actuar sobre las variables de control (o variables de salida) según unos parámetros de control. Esta es la misión del módulo ‘Control Proceso’.

3.3. Ejemplo práctico de funcionamiento: aplicación a un sistema de control de temperatura

A modo de ejemplo se ha escogido el control de temperatura, en el cual básicamente se pueden identificar: una variable de entrada – temperatura –, dos variables de salida – calentar y enfriar – y dos parámetros de control – consigna e histéresis –. El funcionamiento consiste en la activación de la salida enfriar o calentar en función de que la temperatura sobrepase por encima, o por debajo respectivamente, la consigna, con un margen de error definido por la histéresis. Para ello se ha realizado una placa de simulación hardware, la cual se ha conectado al sistema desarrollado tal y como se esquematiza en la figura 9.

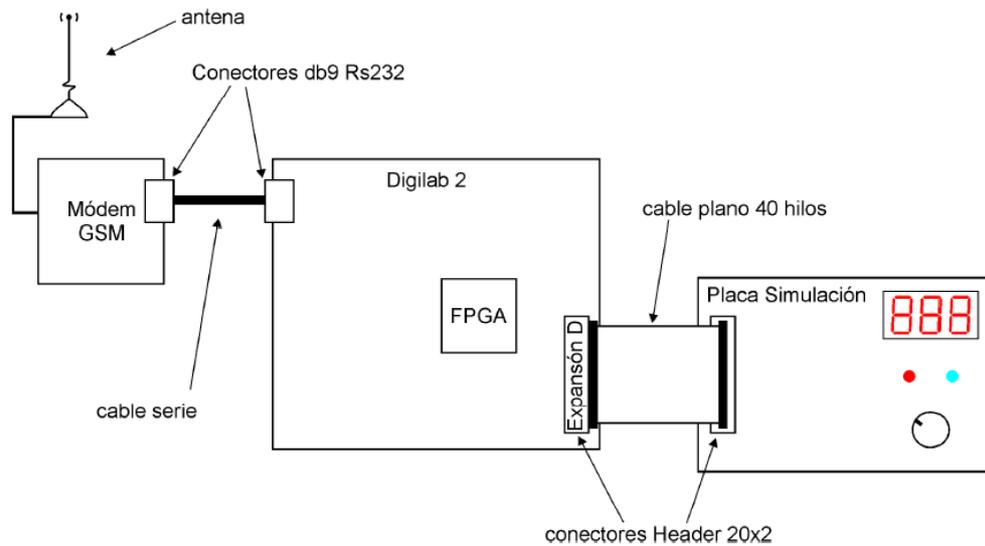


Fig. 9. Esquema del sistema hardware para control de temperatura.

Además se ha dotado al controlador de una salida de alarma que se activa cuando, debido a alguna causa inesperada, se superan unos valores críticos. Éstos están definidos mediante los parámetros alarma superior y alarma inferior.

Un ejemplo del comportamiento de este dispositivo se puede ver en la figura 10, en la que es posible observar que cuando se superan los niveles dados por la consigna y el margen de histéresis, entra la acción de control correspondiente (calentar o enfriar) y que cuando se sobrepasan unos determinados niveles de alarma prefijados, se produce la activación correspondiente del indicador asociado.

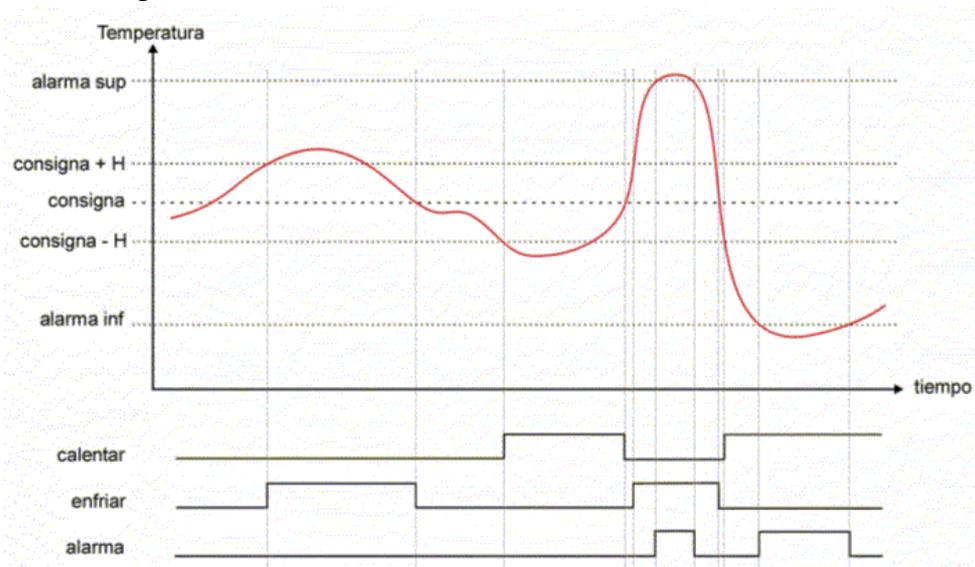


Fig. 10. Ejemplo de evolución de las salidas del controlador de T^{ra} desarrollado.

Hasta el momento, este sistema se asemeja bastante a cualquier otro controlador de temperatura, como pueda ser por ejemplo un sencillo termostato. La diferencia importante es que, gracias a la interfaz de comunicaciones que se ha diseñado, el controlador puede ser dirigido a través de teléfono móvil GSM, permitiendo modificar los parámetros de control y alarmas (telemando), solicitar información de la temperatura (telemetría), y recibir mensajes de alarma de forma automática cuando ésta se active (televigilancia).

6. Resultados

Una vez programado el código VHDL necesario para describir la arquitectura que se ha planteado, se ha sintetizado e implementado, mediante las correspondientes herramientas informáticas y finalmente se ha programado sobre la FPGA seleccionada. Los resultados obtenidos durante esta fase de implementación se detallan en la tabla 1.

Análisis de recursos		
Recurso	Cantidad utilizada	% de los disponibles
Slices	1.719	73%
Registros	1.315	27%
LUTs	2.739	58%
IOBs	27	19%
Puertas equivalentes	29.354	
Análisis de retardos		
Rutas		1.893,413
Redes		1.315
Conexiones		1.271
Periodo mínimo		44 ns
Retardo máximo		7,397ns
Frecuencia máxima		38,879MHz

Tabla 3. Resultados de la implementación hardware

Es importante destacar:

- En primer lugar, han sido utilizados 1.719 Slices, lo que supone el 73% de la capacidad de la FPGA. Xilinx recomienda una ocupación de estos dispositivos inferior al 80. Teniendo en cuenta este dato, se puede decir que la elección de la FPGA ha sido correcta, si bien se están rozando los límites de capacidad del dispositivo.
- Por otro lado, de los 140 pines de entrada/salida disponibles, únicamente han sido utilizados 27. Esto corresponde con el 19% del total, lo cual indica que esta característica de la FPGA está siendo infrautilizada. Esto permitiría una gran ampliación, pudiendo dotar al sistema de un gran número señales de control y variables de entrada adicionales.
- Por último, tras el análisis de retrasos en las señales, se obtiene un periodo de funcionamiento mínimo de 26ns, lo cual permite una frecuencia de trabajo de

38MHz. Esta frecuencia es más que suficiente para desempeñar las funciones para las cuáles el sistema ha sido diseñado.

7. Conclusiones

Se ha diseñado un sistema capaz de realizar las siguientes funciones:

- Control automático de un proceso en base a unos parámetros dados.
- Operación remota:
 - Solicitar información del estado del proceso a controlar.
 - Modificar los parámetros de control.
 - Programación de alarmas.
 - Respuesta automática de mensajes de alarma, según lo programado.

Desde un principio se ha querido realizar un dispositivo que pueda tener una determinada aplicación real, con el fin de que no quede en un mero trabajo teórico. Con esta intención, se ha decidido concretar en un proceso de control de temperatura.

Éste no es más que un ejemplo de las múltiples aplicaciones posibles, que se ha escogido por ser un caso muy frecuente en tareas industriales (calderas, procesos químicos, cultivos en invernadero,...) y cotidiano a nivel de usuario (pensemos en cualquier sistema de climatización de una vivienda, local o automóvil).

De la forma que ha sido planteado, resultará fácil realizar una posterior modificación del dispositivo para trabajar en circunstancias diferentes, variando la programación del sistema de control, modificando la sintaxis de los mensajes SMS, etc.

Por tanto se concluye el proceso de diseño, habiendo completado un sistema autónomo y operativo capaz de funcionar en las condiciones establecidas, a la vez que queda abierto a trabajos posteriores para darle forma y adaptarlo a las necesidades de cada momento, usuario o aplicación.

8. Referencias bibliográficas

CNAF, (2002). Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF). Aprobado por la orden CTE/630/2002, de 14 de marzo de 2002 (B.O.E. nº 70, de 22 de marzo de 2002) y modificado por la orden CTE/2082/2003, de 16 de julio de 2003 (B.O.E. nº 175, de 23 de julio de 2003).

Com&Media, (2004). Com&Media Inc: www.comymedia.com

Digilent, (2004). <http://www.digilent.com>

Dungan, (1996). Frank R. Dungan. “*Sistemas Electrónicos de Telecomunicación*”. Ed. Paraninfo. 1996.

IEEE, (1994). The IEEE Standard VHDL Language Reference Manual, ANSI/IEEE-Std-1076-1993.

Klinkmann, (2004) Klinkmann Inc.: www.klinkmann.com

LOT, (1987). Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones. Ley 31/1987, de 18 de diciembre, de Ordenación de las Telecomunicaciones (B.O.E. nº 303, de 19 de diciembre de 1987).

Mayer y Taylor, (2002). Kevin Mayer and Ken Taylor; “*An Embedded Device Utilizing GPRS for Communications; Inter-national Conference On Information Technology and Applications*”, Bathurst, Australia, 25-28 November 2002.

MFOM, (2004). Ministerio Español de Fomento: <http://www.mfom.es>

Ranchal, (2000). L Ranchal Muñoz, LJ Marmita GazoEl “*Impacto en los Servicios de las redes UMTS*”. Informe Telefónica España. Investigación y Desarrollo.

SETSI, (2004). Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información: <http://www.setsi.mcyt.es>

Siemens, (2002). Wireless Module White Paper. Siemens Inc.

24. Juan Suardíaz Muro, Basil M. Al-Hadithi

Siemens, (2004). Siemens Inc: www.siemens.com/microset

Tan y Taylor, (2002). Lukas Tan and Ken Taylor; “*Mobile SCADA with Thin Clients - A Web Demonstration*”; International Conference On Information Technology and Applications, Bathurst, Australia, 25-28 November 2002

Telemetrix, (2004). <http://www.tlxt.net>

UIT, (2004). Unión Internacional de Telecomunicaciones: <http://www.itu.int/home>

Xacom, (2004). <http://www.xacom.com>

Xilinx, (2004). <http://www.xilinx.com>