

# Control remoto basado en el transceptor de radiofrecuencia con microcontrolador nRF9E5 de Nordic

Por A. Cebrián, J. Rey y J. Millet

Antonio Cebrián

<acebrian@eln.upv.es>

Javier Rey

<jareydel@doctor.upv.es>

José Millet

<jmillet@eln.upv.es>

Departamento de  
Ingeniería Electrónica,  
Universidad Politécnica  
de Valencia

*No hay más que mirar a nuestro alrededor para descubrir el elevado número de controles remotos o mandos a distancia de radiofrecuencia que utilizamos de forma cotidiana. Sin ir más lejos, al salir de casa activamos nuestra centralita de alarma con un mando a distancia, bajamos al garaje y abrimos la puerta de nuestro automóvil con otro mando a distancia y, en último lugar, salimos a la calle no sin antes haber abierto la puerta del garaje con otro mando a distancia.*

Todos los controles remotos citados se encuadran dentro de la categoría de controles remotos para el control de acceso sin llaves. Éste tipo de sistemas está compuesto de una unidad de control remoto (lo que denominamos coloquialmente mando a distancia) y de una unidad base situada en el acceso controlado (centralita de alarma, automóvil, puerta de garaje, etc.).

Figura 1. Unidad de control remoto tradicional



Tradicionalmente, los sistemas de control de acceso remoto han utilizado un enlace de radiofrecuencia unidireccional con modulación ASK en la banda ISM de 433 MHz, siendo la unidad de control remoto el emisor y la unidad base el receptor (figura 1).

Aunque gran parte de los sistemas de control de acceso remoto actualmente en funcionamiento, lo

siguen haciendo de acuerdo con las características descritas, el sistema tradicional presenta algunos inconvenientes y deficiencias.

Una de las principales deficiencias está relacionada con la seguridad del sistema. Nótese que si algún individuo es capaz, mediante los medios adecuados, de escuchar y almacenar en una única ocasión el mensaje enviado por la unidad de control remoto a la unidad base, tendrá acceso no autorizado ilimitado al elemento controlado simplemente reproduciendo el mensaje almacenado tantas veces como desee.

Es por ello que el sistema de control de acceso remoto tradicional se está quedando obsoleto, apostándose en la actualidad por un modelo bidireccional en los nuevos desarrollos.

La apuesta actual pasa por la utilización de una comunicación bidireccional entre la unidad de control remoto y la unidad base. Se sigue apostando por el enlace de radiofrecuencia aunque bidireccional, con modulación FSK y en la banda ISM de 868 MHz.

En el modelo bidireccional, la unidad de control remoto envía un mensaje a la unidad base en respuesta a la pulsación de un botón. La unidad base recibe y valida el mensaje, enviando un mensaje de reconocimiento a la unidad de control remoto y realizando la acción solicitada (por ejemplo, la apertura de una puerta). La unidad de control remoto recibe el mensaje de reconocimiento y puede dar una indicación visual o acústica al usuario de que la acción ha sido realizada.

La validación de los mensajes puede ser tan sofisticada como se desee, incluyendo la utilización de métodos criptográficos y protocolos de desafío-respuesta que garanticen la seguridad del sistema. Eliminando, de esta forma, la principal deficiencia del sistema tradicional.

Además, el modelo bidireccional permite dotar al sistema de nuevas funciones como el envío de mensajes de alarma desde la unidad base a la unidad de control remoto. Imaginemos la situación en la que la unidad base de nuestro automóvil detecta una condición de alarma (un acceso no autorizado) y envía un mensaje de alarma a la unidad de control remoto que activa, a su vez, una indicación acústica. Evidentemente, en este ejemplo de aplicación debemos suponer que la unidad de control remoto y, por extensión, el usuario se encuentra dentro de la zona de cobertura del enlace de radiofrecuencia.

En el presente artículo se presenta el desarrollo de una unidad de control remoto bidireccional, de propósito general y reutilizable en posteriores desarrollos a medida. El desarrollo está basado en el transceptor de radiofrecuencia nRF9E5 de Nordic [1].

Si bien el desarrollo podría haberse realizado con cualquier otro transceptor de radiofrecuencia [2], se ha seleccionado el transceptor nRF9E5 por su reducido tamaño, por el reducido número de componentes externos necesarios y por las reducidas exigencias de diseño en la tarjeta de circuito impreso (realizada a dos capas).

## Transceptor de radiofrecuencia con microcontrolador nRF9E5

El transceptor de radiofrecuencia con microcontrolador nRF9E5 de Nordic está diseñado para ofrecer al usuario una solución integral y fácil de usar. Junto con el transceptor de radiofrecuencia multibanda, el dispositivo integra un microcontrolador de 8 bits basado en la arquitectura clásica 8051 que incorpora numerosos periféricos. De entre las características principales del dispositivo nRF9E5 podemos destacar:

**Transceptor de radiofrecuencia**

- Rango de frecuencias de 430-435 MHz y 862-928 MHz.
- Compatible con bandas ISM (433 MHz y 868 MHz).
- Bajo consumo.
- Sensibilidad típica de -100 dBm.
- Potencia salida máx. de 10 dBm.
- Velocidad de transmisión máxima de 50 kbits/s
- Modulación GFSK.
- Pocos componentes externos.
- Posibilidad de implementación de protocolos con salto de frecuencia.
- Detección de portadora.
- Robusto frente a ruido y EMC.

**Microcontrolador 8051**

- Frecuencia reloj de 0.5 a 20 MHz.
- Tensión de alimentación de 1.9 a 3.6 V, con regulador de tensión integrado.
- 4 Kbytes de memoria de programa SRAM.
- 256 bytes de memoria de datos SRAM.
- 1 salida PWM.
- 1 UART.
- Bus SPI.
- 3 temporizadores.
- Convertidor A/D con 4 canales de 12 bits.
- Monitorización de la tensión de la batería.
- Pines de salida capaces de manejar 10 mA.

El gran número de periféricos integrados en el dispositivo junto con el bajo número de componentes externos necesarios (cristal, memoria EEPROM serie de programa y antena), hacen del transceptor de radiofrecuencia nRF9E5 una solución ideal para el desarrollo de unidades de control remoto bidireccional en aplicaciones a medida.

**Unidad de control remoto**

Para el diseño de la unidad de control remoto bidireccional (figura 2) se ha seleccionado una envolvente de plástico estándar que integra

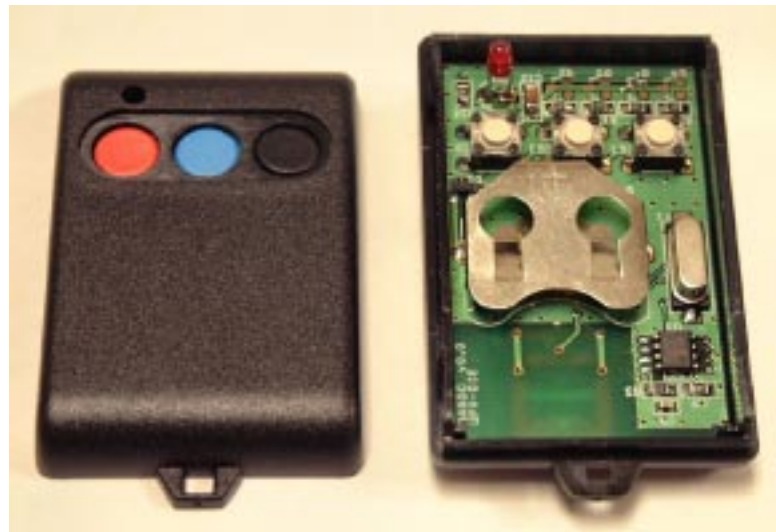


Figura 2: Unidad de control remoto de propósito general desarrollada

un indicador visual (LED) y tres pulsadores cuya función podrá ser configurada por software de acuerdo con las necesidades particulares de cada aplicación específica.

Entre los bloques funcionales de la unidad de control remoto desarrollada (figura 3) podemos destacar: el transceptor de radiofrecuencia con microcontrolador, la fuente de alimentación (batería), el reloj del sistema (cristal), la memo-

ria EEPROM de programa, la antena y la interfaz de usuario (indicador visual y pulsadores). La fuente de alimentación se ha implementado utilizando una batería estándar de 3V. Concretamente, se ha empleado la pila tipo botón CR2032. Se ha considerado conveniente incluir una protección del circuito frente a polaridades inversas de la batería, consistente en la inclusión de un diodo en serie con la batería.

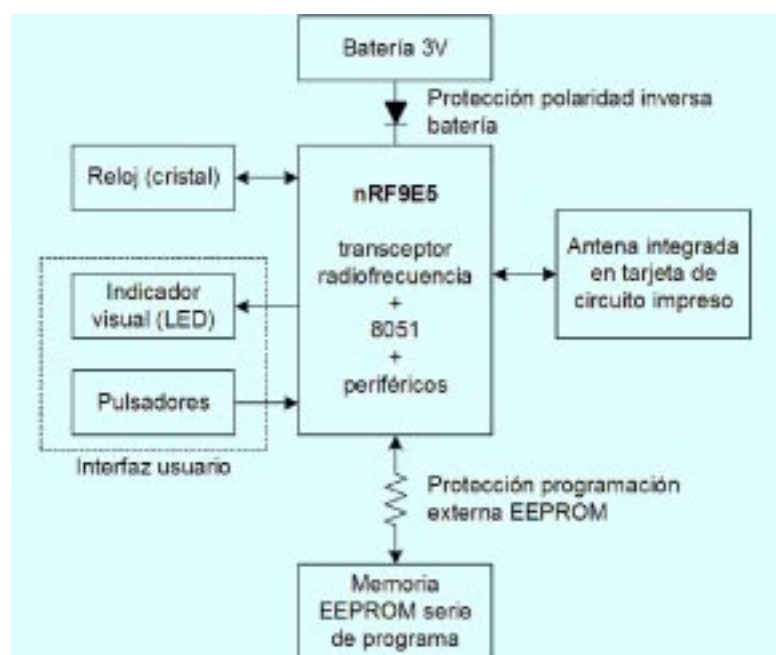


Figura 3. Diagrama de bloques de la unidad de control remoto desarrollada

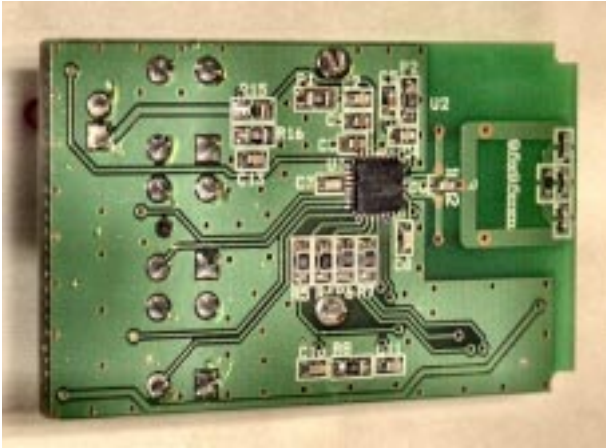


Figura 4: Detalle de antena y transceptor de radiofrecuencia de la unidad de control remoto desarrollada

La conexión del bus SPI del microcontrolador con la memoria EEPROM serie de programa se ha realizado a través de unas resistencias serie de 1 kW que permiten realizar una programación externa de la memoria EEPROM sin afectar al microcontrolador, tal y como se verá más adelante.

La antena del transceptor de radiofrecuencia (figura 4) se ha diseñado para funcionar en la banda ISM de 868 MHz de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante en sus notas de aplicación [3].

La interfaz de usuario, impuesta por las características particulares de la envolvente utilizada, incluye un indicador visual implementado mediante un diodo LED de bajo consumo y tres pulsadores configurables por software.

### Tarjeta de circuito impreso

La unidad de control remoto ha sido implementada mediante una tarjeta de dos capas de bajo coste integrando, en la propia tarjeta de circuito impreso, la antena de 868 MHz. Aunque el transceptor de radiofrecuencia nRF9E5 posee unas reducidas exigencias en cuanto al diseño de la tarjeta de circuito impreso, el hecho de trabajar con radiofrecuencia exige tener en cuenta

una serie de directrices básicas que aseguren el buen funcionamiento de diseño [4]:

- En radiofrecuencia lo importante es la impedancia y no la resistencia.
- Utilice siempre un plano de masa para minimizar la impedancia de la referencia de 0 V.
- Minimice la longitud de las conexiones al plano de masa utilizando una vía al plano de masa independiente para cada *pin*.
- Utilice condensadores de desacoplo cerca de los *pines* de alimentación. Los condensadores con dieléctrico NPO son los que presentan una mejor respuesta en alta frecuencia. Tenga en cuenta la frecuencia de resonancia del condensador al seleccionar su valor (el valor clásico de 100 nF no es en absoluto el más adecuado para radiofrecuencia).
- Realice un trazado radial (en estrella) de la alimentación para disminuir su impedancia común.
- Si dispone de circuitos integrados especialmente ruidosos, filtre su alimentación utilizando ferritas o resistencias de bajo valor (10 ).
- Si integra la antena en la propia tarjeta de circuito impreso, tenga en cuenta en su diseño que la impedancia de una pista depende de los

siguientes parámetros: la anchura de la pista, el espesor del cobre de la pista, la situación de la pista (capa interna o externa), el tipo de dieléctrico y el espesor del dieléctrico.

No se van a abordar los detalles asociados a la formulación matemática asociada al cálculo y ajuste de la impedancia de las pistas puesto que se pueden encontrar numerosos paquetes software que automatizan de forma sencilla estos cálculos. En la figura 5 se muestra un ejemplo de ajuste de la impedancia de una pista a 50 W utilizando la herramienta gratuita AppCAD de Agilent [5] en una tarjeta de circuito impreso con las siguientes características: dieléctrico de 1.6 mm (63 mil) de tipo FR-4, espesor de cobre de 35 mm (1.378 mil) y separación entre pistas de 8 mil.

### Herramientas de desarrollo: programador de EEPROM

La configuración interna de memoria del microcontrolador incluido en el transceptor de radiofrecuencia nRF9E5 es un tanto particular tal y como veremos a continuación.

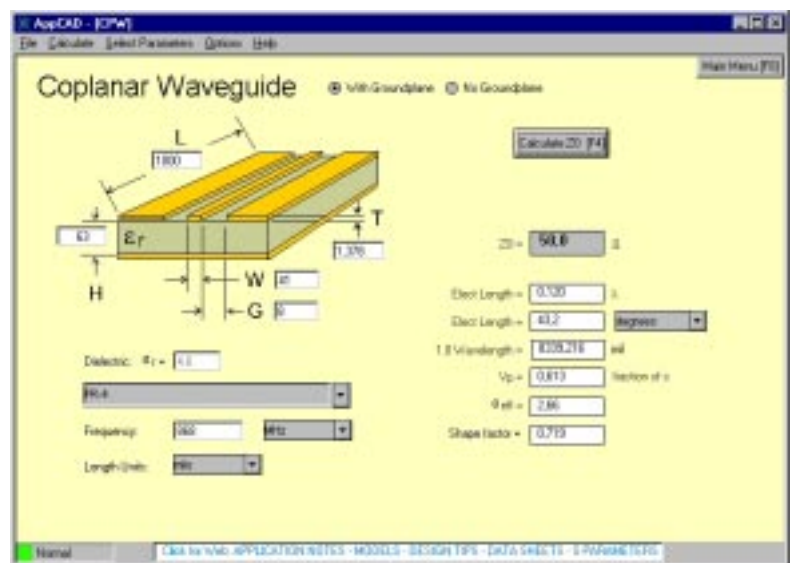


Figura 5. Ejemplo de cálculo de la impedancia de una pista con AppCAD

Por una parte, el microcontrolador posee una pequeña memoria ROM interna que contiene un programa cargador encargado de transferir el programa del usuario desde una memoria externa EEPROM serie hasta una memoria de programa interna SRAM de 4 Kbytes. El programa cargador soporta el uso de una memoria EEPROM serie SPI 25320 genérica y disponible en distintos fabricantes.

Por otra parte, el microcontrolador dispone de una memoria de datos interna SRAM de 256 bytes. Además, la memoria de programa SRAM interna de 4 Kbytes puede ser utilizada, de forma parcial, como memoria de datos.

La programación de la memoria EEPROM serie de programa, en la unidad de control remoto desarrollada, se realiza siguiendo el esquema de conexión presentado en la figura 6.

El programador y emulador de memoria EEPROM utilizado se corresponde con el incluido en el *kit* de evaluación del transceptor nRF9E5 de Nordic (nRF9E5-EVKIT-868/915). Aunque, caso de no disponer de dicho *kit* de evaluación, resultaría relativamente simple realizar un programador de memoria EEPROM a través del puerto paralelo del ordenador personal sin más que utilizar un convertidor de niveles de tensión entre el puerto paralelo (5 V) y la unidad de control remoto desarrollada (3 V).

Para evitar la creación de posibles conflictos con el bus SPI del mi-

crocontrolador durante la programación externa de la memoria EEPROM, dicho bus se ha independizado de la memoria EEPROM mediante el uso de unas resistencias serie de 1 kW que permiten al programador y emulador de memoria EEPROM tomar el control del bus SPI sin interferir con el microcontrolador.

Debido a las limitaciones de espacio de la tarjeta de circuito impreso de la unidad de control remoto desarrollada no ha sido posible incluir un conector para el programador y emulador de memoria EEPROM.

La conexión con el mismo se realizará utilizando una pinza para circuitos integrados SMD aplicada directamente sobre la memoria EEPROM.



El software de control del programador y emulador de memoria EEPROM serie nRFPROG proporcionado por Nordic (figura 7) proporciona la posibilidad de emular la memoria EEPROM junto con la funcionalidad típica de cualquier programador: programación y verificación del contenido de la memoria.

## Herramientas de desarrollo: programa monitor y depurador serie

Desgraciadamente, el microcontrolador 8051 incluido en el transceptor de radiofrecuencia nRF9E5 no dispone de ningún tipo de soporte hardware para la depuración. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante, se sugiere el uso de un programa monitor (*Keil ISD51 in-system debug monitor*) que posibilita la depuración a través de una conexión serie RS-232 con el ordenador personal utilizando la UART del microcontrolador.

En el caso concreto de la unidad de control remoto desarrollada y de nuevo debido a las limitaciones de espacio de la tarjeta de circuito impreso, no se ha incluido un conector para acceder a la UART del microcontrolador. Presuponiendo que la depuración del software específico para la unidad de control desarrollada se realizará sobre la tarjeta incluida en el *kit* de evaluación que sí que dispone de una conexión serie RS-232 con el ordenador personal.

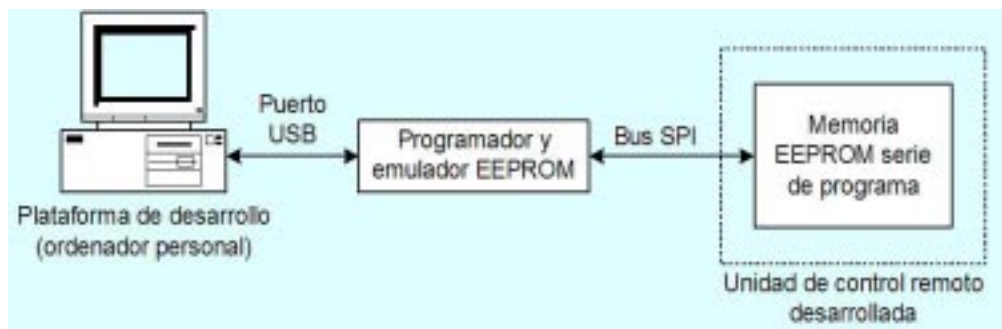
## Compilador de C y ensamblador

Para el desarrollo de aplicaciones Nordic recomienda el uso del entorno de desarrollo de Keil [6] para la familia de microcontroladores 8051, el cuál incluye en un único entorno integrado de desarrollo mVision3 (figura 8): un gestor de proyectos, el compilador de C y el ensamblador.

El entorno integrado de desarrollo mVision3 permite la configuración de herramientas externas específicas de programadores de memoria. Siendo posible, por tanto, configurar el entorno para que utilice de forma automática el software de control del programador y

Figura 7. Software de control nRFPROG del programador y emulador de memoria EEPROM serie de Nordic

Figura 6. Esquema de conexión para la programación de la memoria EEPROM serie de programa en la unidad de control remoto desarrollada



emulador de memoria EEPROM serie nRFPROG proporcionado por Nordic.

## Conclusiones

Se ha desarrollado una unidad de control remoto de propósito general con objeto de poder utilizarla en posteriores desarrollos a medida.

El desarrollo realizado apuesta por las nuevas tendencias utilizando un enlace de radiofrecuencia bidireccional en la banda ISM de 868 MHz con modulación FSK.

La selección del transceptor de radiofrecuencia con microcontrolador nRF9E5 de Nordic se justifica, principalmente, por las reducidas exigencias de diseño en la tarjeta de

circuito impreso. El diseño se ha realizado en una tarjeta de circuito impreso de doble cara de bajo coste integrando, en la propia tarjeta, la antena.

## Referencias

- [1] Nordic Semiconductor, "nRF9E5 Multiband Transceiver-MCU-ADC", [www.nordicsemi.com/](http://www.nordicsemi.com/)
- [2] A. Cebrián et al., "Instructor para el transceptor de radiofrecuencia con microcontrolador CC1010 de Chipcon", Revista Española de Electrónica nº 595 Junio 2004
- [3] Nordic Semiconductor, «nRF9E5 RF and antenna layout», nAN900-04 February 2004 Revision 1.0
- [4] Nordic Semiconductor, "Design-in of RF circuits", WP Dec. 2002



- [5] Agilent Technologies, "App-CAD", website: <http://www.home.agilent.com>
- [6] Keil Software, "mVision IDE", <http://www.keil.com/uvision2/>

Figura 8: Entorno integrado de desarrollo mVision3 de Keil