

INGENIERIA TÉCNICA EN  
TELECOMUNICACIONES:  
ESPECIALIDAD TELEMÁTICA

**PAEEES 04/993**

**TARJETAS DE  
MEMORIA  
SECURE DIGITAL**

Mario Carbonell i Cremades  
Raquel Abad Carro  
Pablo Doménech Garcia  
José Fernando Chonata Villamarín  
Jorge Jordà Hernandez  
Salvador Poveda Poveda

# INDICE

ÍNDICE.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. APERTURA DE ESTÁNDARES .....	4
3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	4
4. SDIO .....	5
5. PROTECCIÓN DE CONTENIDO.....	5
6. DIFERENTES TIPOS DE TARJETAS MMC/SD .....	6
6.1. COMPARATIVA TÉCNICA .....	7
6.2. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LA TARJETA SD:.....	8
7. CONEXIÓN A UN MICROPROCESADOR DSPIC.....	9
7.1. CONEXIONES DEL DSPIC30F4013. ....	10
7.2. EL BUS SPI.....	10
7.2.1. Características del bus SPI .....	11
7.3. CONEXIONES DE LA SD.....	11
7.4. BYTES ENVIADOS Y RECIBIDOS .....	12
7.5. CIRCUITO FINAL .....	13
7.6. COMANDOS DE LA TARJETA SD EN EL MODO SPI.....	14
7.6.1. Generales:.....	14
7.6.2. Tabla de comandos SD.....	16
7.6.3. Tabla de comandos SPI .....	17
7.7. BIBLIOGRAFIA .....	18

# 1. INTRODUCCIÓN

Las tarjetas Secure Digital (SD) son básicamente memorias flash utilizadas en dispositivos portátiles. Se basan en un formato anterior llamado Multi Media Card (MMC). Sus dimensiones son 32 mm x 24 mm x 2.1 mm, un poco más gruesas que las MMC, y disponen de un interruptor lateral para evitar sobreescrituras involuntarias. Existen dos tipos: unas funcionan a velocidades normales y otras poseen una tasa de transferencia superior a la anterior.

Las tarjetas Secure Digital nacieron cuando Toshiba añadió hardware de cifrado a la tarjeta MMC, ya que se suponía que era fácil la copia de archivos, por ejemplo, de música.

Se pueden utilizar directamente en las ranuras de CompactFlash o de PC Card con un adaptador. Existen variaciones de la tarjeta SD que son MiniSD y MicroSD, se pueden utilizar en ranuras SD con un adaptador. Hay lectores que permiten que las tarjetas SD sean accesibles por medio de muchos puertos de conectividad como USB, FireWire y el puerto paralelo común. También son accesibles mediante una disquetera usando un adaptador FlashPath.

Las tarjetas SD se utilizan fundamentalmente como almacenamiento de datos para dispositivos como: cámaras digitales, videocámaras, PDAs, teléfonos móviles.

Las tarjetas Secure Digital nacieron cuando Toshiba añadió hardware de cifrado a la tarjeta MMC, ya que se suponía que era fácil la copia de archivos, por ejemplo, de música.

Recientemente se han desarrollado los conectores USB integrados en la tarjeta. Un diseño pionero de SanDisk tenía una aleta que giraba y dejaba al descubierto el conector. Aunque no se pretendía comercializar la tarjeta con USB, este diseño animó a los fabricantes a seguir con la idea.



## 2. APERTURA DE ESTÁNDARES

El acuerdo de licencia actual para las tarjetas SD no permite controladores de código abierto. Normalmente se desarrolla una envoltura de código abierto para un controlador SD de código cerrado disponible en una plataforma particular, o se utiliza un modo antiguo de MMC.

De esta manera los estándares de CompactFlash y los llaveros USB son estándares más abiertos, pueden ser implementados libremente, pero requieren costes de licencia por las marcas registradas y logotipos asociados.

## 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Todas las SD soportan el modo MMC con una interfaz serie de cuatro cables (reloj, entrada serial, salida serial, selección de chip). La documentación para el MMC se puede comprar en MMC por \$500,00, pero si se quiere documentación parcial para SDIO es libre y existe documentación libre disponible para tarjetas de memoria como parte de las hojas de especificación de algunos fabricantes.

El modo MMC no proporciona acceso a las características de encriptación de las tarjetas SD y la documentación libre de SD no las describe. Esa información es utilizada por los productores de medios y no es muy utilizada por los consumidores quienes típicamente utilizan las tarjetas para almacenar datos no protegidos.

Existen 3 modos de transferencia soportados por SD: Modo SPI (entrada separada serial y salida serial), Modo un-bit SD (separa comandos, canales de datos y un formato propietario de transferencia), Modo cuatro-bit SD (utiliza terminales extra más algunas terminales reasignadas) para soportar transferencias paralelas de cuatro bits.

Las tarjetas de baja velocidad soportan tasas de transferencia de hasta 400 kbits/s y modo de transferencia un-bit SD. Las tarjetas de alta velocidad soportan tasas de transferencia de hasta 100 Mbits/s en el modo de cuatro-bit y de hasta 25 Mbits/s en el modo un-bit SD.

Los derechos de las licencias para SD/SDIO (sobre las cuales se hablará en el punto 4) son impuestos a los fabricantes y vendedores de tarjetas de memoria y lectores de las mismas, pero las tarjetas SDIO pueden ser realizadas sin licencia y los lectores MMC no requieren licencia.

## 4. SDIO

Los dispositivos que soportan SDIO (PDAs, ordenadores portátiles y teléfonos móviles) pueden usar pequeños dispositivos diseñados para las dimensiones SD, como receptores GPS, Wi-Fi o adaptadores Bluetooth, módems, lectores de códigos de barras, etc.

Hay propuestos otros dispositivos, como adaptadores serie RS-232, sintonizadores de TV, escáner de huella dactilar, adaptadores host/slave de SDIO a USB, lectores de bandas magnéticas, etc.



Fig 1- Dispositivos que soportan SDIO

## 5. PROTECCIÓN DE CONTENIDO.

CPRM (Protección de Contenido para Medios Regrabables), la tecnología de protección del "copyright" usado en las tarjetas de memoria SD, es la llave para permitir una nueva forma de distribución para música y otros contenidos comerciales, porque asegura un alto nivel de protección contra la piratería. La tecnología fue desarrollada por 4C (Organización para la licencia de tecnología para la protección del copyright de contenidos digitales, de IBM, Intel, Matsushita (Panasonic) y Toshiba.).

Teniendo un probado ejemplo en el DVD, esta protección ha sido mejorada en la Tarjeta de Memoria SD a través del uso de una tecnología de "llave de revocación", tecnología que se encuentra embebida en la tarjeta.

La circuitería de control de la tarjeta, permite que los datos sean leídos y escritos (en la zona protegida), sólo cuando los dispositivos externos adecuados son detectados. Una revisión (copiando) desde un PC hacia una SD MemoryCard está restringida a 3 copias, acorde con la especificación SDMI.

Todos los productos SD-Audio cumplen con la SMDI

Características de la protección de copyright de las SD:

El acceso a la tarjeta debe ser activado mediante autenticación entre dispositivos.

Un número aleatorio es generado cada vez que hay mutua autenticación e intercambio de información de seguridad.

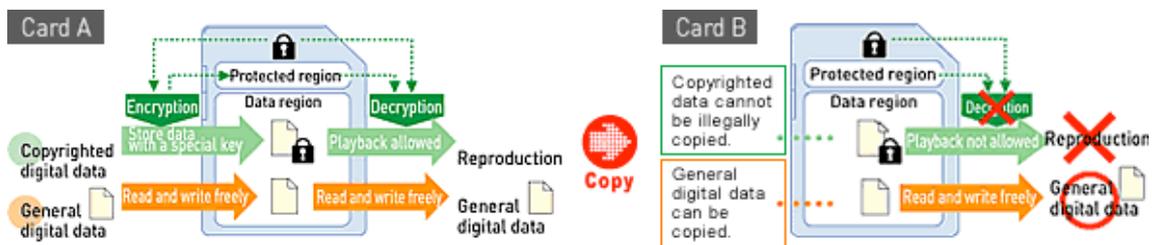


Fig. 2- Protección de datos

## 6. DIFERENTES TIPOS DE TARJETAS MMC/SD

Además de las tarjetas SD existen las miniSD y microSD. Se pueden utilizar en ranuras del mismo tamaño que MMC/SD/SDIO con un adaptador. Como las ranuras SD todavía tienen soporte para las tarjetas MMC, las variantes de MMC más pequeñas, que han evolucionado por separado, también son compatibles con los dispositivos que tienen soporte para SD.

## 6.1.

## COMPARATIVA TÉCNICA

	<b>MMC</b>	<b>SD</b>	<b>SDIO</b>	<b>Mini SD</b>	<b>microSD</b>
<b>Socket SD</b>	Sí	Sí	Sí	Adaptador electromecánico	Adaptador electromecánico
<b>Pines</b>	7	9	9	11	8
<b>Factor de forma</b>	Fino	Grueso	Grueso	Estrecho/corto/fino	Estrecho/corto/extrafino
<b>Ancho</b>	24 mm	24 mm	24 mm	20 mm	11 mm
<b>Largo</b>	32 mm	32 mm	32mm	21,5 mm	15 mm
<b>Grosor</b>	1,4 mm	2,1 mm	2,1 mm	1,4 mm	1 mm
<b>Modo SPI</b>	Opcional	Necesario	Necesario	Necesario	Necesario
<b>Modo 1 bit</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>Modo 4 bits</b>	No	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
<b>Modo 8 bits</b>	No	No	No	No	no
<b>Reloj xfer</b>	0-20 MHz	0-25 MHz	0-25 MHz	0-25 MH	0-25 MHz
<b>XFER máximo</b>	20 Mbit/s	100Mbit/s	100 Mbit/s	100 Mbit/s	100 Mbit/s
<b>SPI XFR máximo</b>	20 Mbit/s	25 Mbit/s	25 Mbit/s	25 Mbit/s	25 Mbits
<b>DRM</b>	No	Sí	No	Sí	Sí
<b>Compatible con código abierto</b>	Sí	Sólo SPI	Sólo SPI	Sólo SPI	Sólo SPI

El MMC definió los protocolos SPI y un-bit MMC/SD. El protocolo subyacente SPI ha existido durante años como una característica estándar en muchos microcontroladores. El nuevo protocolo utilizaba la señalización del colector abierto para permitir múltiples tarjetas en el mismo bus pero esto realmente causa problemas en una frecuencia de reloj alta.

El estándar SPI se habría podido registrar simplemente con unas frecuencias de transferencia de datos más altas (por ejemplo 133 MHz) para tener un rendimiento más alto que el ofrecido por el SD de cuatro bits. De todas

maneras, los CPUs embebidos que ya no tenían tasas de reloj más altas no habrían sido lo suficientemente rápidos como para manejar tasas de datos más altas. La asociación de la tarjeta SD dio soporte para parte de las órdenes del antiguo protocolo MMC de un bit y añadió soporte para comandos adicionales relacionados con la protección de copia.

## 6.2. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LAS TARJETAS SD:

- Alta velocidad de transferencia: 25 Mbytes/s
- Voltaje de operación: 2'0 V-3'6 V.
- Temperatura de operación: de -25°C a 85°C.
- Durabilidad: > 1.000.000 horas.
- Peso: 2 gr.
- Capacidad: 32 MB, 64 MB, 128 MB, 256 MB, 512 MB, 1 GB, 2GB, 4GB.
- Para la escritura y lectura de los datos en la SD se hacen por bloques de bytes, desde 1 hasta 512 bytes.
- Interruptor de protección de escritura. (Al deslizar el interruptor hacia la parte inferior de la tarjeta de memoria SD, los datos quedarán protegidos. Al deslizarlo hacia la parte superior de la tarjeta, la protección de los datos quedará cancelada).

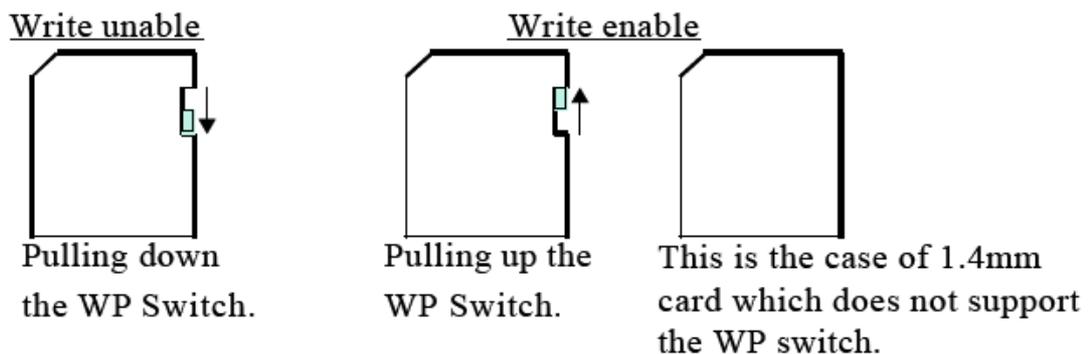


Fig. 3- Mecanismo de protección de datos.

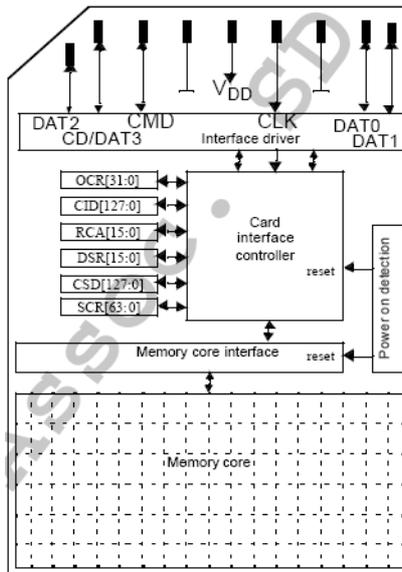


Fig. 4- Arquitectura interna de la tarjeta SD

## 7. CONEXIÓN A UN MICROPROCESADOR DSPIC

Hay microprocesadores, como el dsPIC 1820 que llevan incorporadas ranuras para las tarjetas MMC/SD. Sin embargo, como se ha explicado antes, las tarjetas tienen conexiones SPI, al igual que los microprocesadores dsPIC.

En nuestro caso, nos centraremos en la conexión de una tarjeta SD al microcontrolador dsPIC30F4013 mediante SPI

Típicamente para la transmisión de datos es necesario tres componentes:

- Transmisor.
- Medio de transmisión.
- Receptor.

En nuestro caso el transmisor será el dsPIC30F4013, el medio de transmisión será el bus SPI, y el receptor la tarjeta SD (Fig. 1).

La conexión SS solo se utiliza en caso de ser esclavo. Como maestro vale cualquier salida.

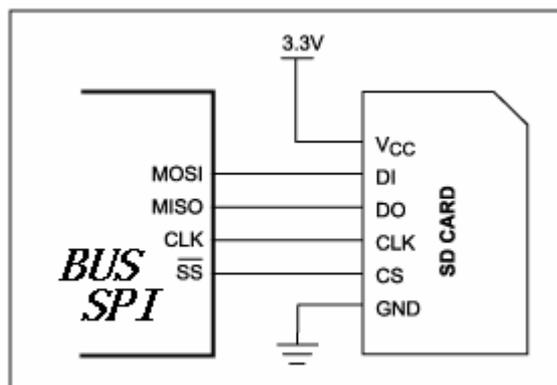


Fig. 5- Conexión de SD

## 7.1. CONEXIONES DEL DSPIC30F4013.

El microcontrolador tiene un modulo para la conexión mediante el bus SPI.

Las patillas correspondientes a dicho modulo son:

SDI1 (patilla 26): Es la entrada de datos (portf)

SDO1 (patilla 25): Es la salida de datos (portf)

SS1 (patilla 4): Es el selector de habilitado o deshabilitado (portb)

SCK1 (patilla 24): es el reloj de transmisión. (portf)

## 7.2. EL BUS SPI.

El modo SPI consiste en un protocolo de comunicación secundaria ofrecido por las tarjetas de memoria SD. Este modo está diseñado para comunicarse por un canal SPI, comúnmente encontrado en los microcontroladores de Motorola. La interfaz es seleccionada durante la primera orden después de ser conectado y no puede ser cambiada una vez se enciende.

Son las siglas de Serial Peripheral Interface; es una interfaz sincrónica que permite implementar una comunicación full duplex de manera sencilla, entre un "Maestro" y uno o más "Esclavos" (quienes intercambian información en forma serial con el Maestro) donde el Maestro es el dispositivo que provee el reloj del sistema y el Esclavo es cualquier circuito que recibe dicho reloj. Los datos transferidos (en forma serie) están sincronizados por la señal de reloj proporcionada por el Maestro. Es muy usado para conectar microcontroladores (Maestro) con otros periféricos, en nuestro caso con una tarjeta SD (esclavo).

El estándar SPI define solo los enlaces físicos, y no el protocolo de transferencia completo. La implementación SPI de las tarjetas de memoria SD usa un subconjunto del protocolo de la memoria SD y de los comandos.

La ventaja del modo SPI es la capacidad de usar a un anfitrión disponible, de ahí un diseño reducido al mínimo esfuerzo. La desventaja es la pérdida de funcionamiento del modo SPI contra el modo SD 1 ó 4 bits.

Esta interconexión serie consta de cuatro señales básicas:

- SCLK (Serial Clock) es el hilo reservado para el reloj, el cual es siempre manejado por el dispositivo maestro:
- MISO (Master In Slave Out data): une la entrada de datos del microcontrolador con la salida de datos de la tarjeta SD.
- MOSI (Master Out Slave In data): conecta la salida de datos del maestro a la entrada de datos del dispositivo esclavo.
- SS (Slave Selector): permite seleccionar distintos dispositivos conectados a un mismo bus. Cada dispositivo conectado al bus necesita su propia señal SS.

### 7.2.1. Características del bus SPI

- Siempre se debe transmitir el bit más significativo primero.
- No define arbitraje del bus.
- El usuario debe implementar la decodificación de los dispositivos.
- El dispositivo maestro, por ejemplo un microcontrolador, puede interrumpir la transmisión en cualquier momento (poniendo a nivel alto CS y colocando el reloj en tercer estado), para luego retomarla un tiempo más tarde desde el ultimo bit transmitido.
- El reloj pone datos en serie desde y hacia el microcontrolador en bloques de 8 bits
- Provee soporte para redes de bajo y medio ancho de banda
- Soporta velocidades hasta de 25MHz

### 7.3. CONEXIONES DE LA SD

Esta tarjeta de memoria tiene tres modos de conexión, pero en este caso el estudio se centrará en el bus SPI por su funcionalidad, la minimización de pines y porque el microcontrolador tiene incorporado un módulo para SPI.

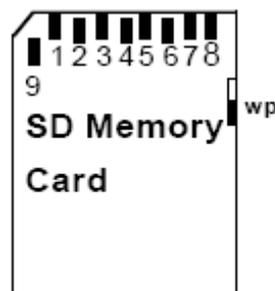


Fig.6- Pines de la Tarjeta SD

Las tarjetas SD tienen 9 pines de conexión distribuidos como muestra la figura anterior, mas uno de bloqueo manual de los cuales para la comunicación en bus SPI solo necesitamos 4 (de los cuatro pines de datos solo cogemos uno):

DI (pin 2): entrada de datos.

DO(pin 7, 8 ó 9) salida de datos

CLK (pin 5): señal de reloj

CS (pin 1): chip select, activa a nivel bajo.

Pin	Name	Type	SD Description
1	CS/DAT32	I/O3	Chip Select/Data Line [Bit 3]
2	CMD/DI	I/O	Command/Data In (SPI)
3	VSS1	S	Supply voltage ground
4	VDD	S	Supply voltage
5	CLK	I	Clock
6	VSS2	S	Supply voltage ground
7	DAT0	I/O	Data Line [Bit 0]
8	DAT1	I/O	Data Line [Bit 1]
9	DAT2	I/O	Data Line [Bit 2]

Fig 7.- Tabla de los pines de conexión de las SD

#### 7.4. BYTES ENVIADOS Y RECIBIDOS

Los bytes enviados desde el microcontrolador deben tener el formato que se muestra en la figura 3 y se describe en la tabla posterior:

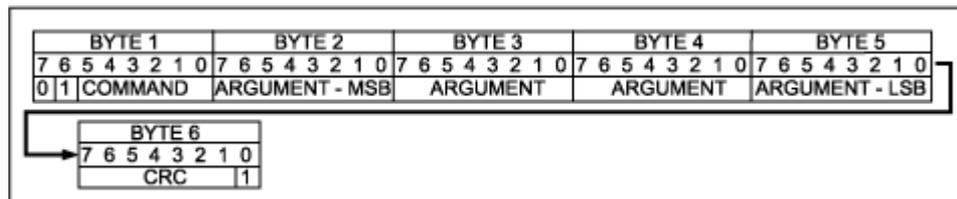


Fig 8.- Trama de datos

<b>Bit position</b>	47	46	[45:40]	[39:8]	[7:1]	0
<b>Width (bits)</b>	1	1	6	32	7	1
<b>Value</b>	'0'	'1'	x	x	x	'1'
<b>Description</b>	start bit	transmission bit	command index	argument	CRC7	end bit

Fig 9.- Descripción trama

Cuando la SD recibe un comando (Especificados en el apartado de comandos SD, 7.6.2.), esta envía un byte de respuesta en la que cada bit

representa una acción; en la figura 4 se muestra el formato de la respuesta R1 de la SD.

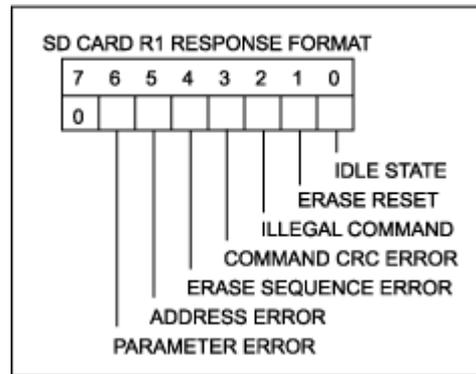


Fig 10.- Bits de estado

Existen diversos bits de estado, como Parameter Error (PE), Illegal Command (IC) y Idle State (IS) se encargan de indicar el estado en que se encuentra la transmisión-recepción, así como indicar los errores.

### 7.5. CIRCUITO FINAL

A continuación (Fig. 5), está el circuito final de conexión. Se observa que en la SD hay dos terminales conectados a masa, esto es para no perder la sincronización (especialmente en la transmisión a cuatro bits). Las resistencias conectadas a la entrada de los terminales de la SD tienen la función de proteger y también de proporcionar la tensión a la que trabaja las SD (a pesar de que el dsPIC provee una salida de 3,3v pueden producirse sobretensiones).



- Lectura de datos:

El modo SPI, soporta lectura de bloques *single* (CMD17) y lectura de bloques múltiple (CMD18).

En las tarjetas de capacidad estándar, se puede determinar el tamaño de los bloques con el comando SET\_BLOCKLEN (CMD16). En las de alta capacidad, el tamaño está fijado en 512 bytes.

El comando *stop transmission* (CMD12), detiene la operación de transferencia de datos.

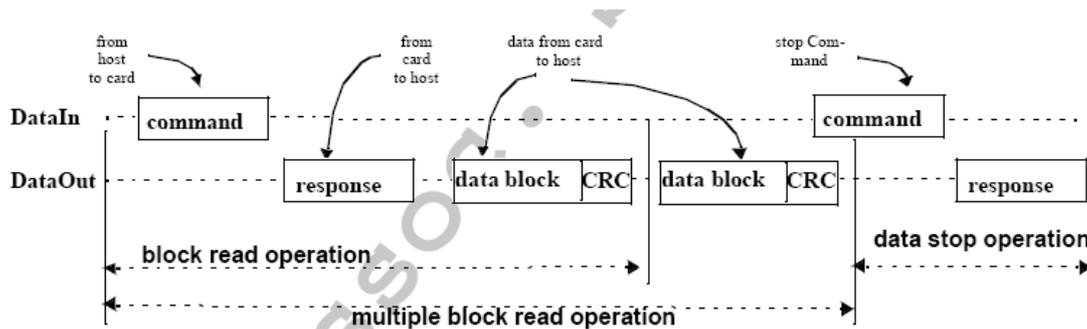


Fig 12.- Lectura de múltiples bloques

- Escritura de datos:

El modo SPI también soporta escritura de bloques *single* (CMD24) y de bloques múltiples (CMD25). Después de la recepción de un comando de escritura válido, la tarjeta responde con un *token* y espera al bloque de datos enviado por el usuario. Si el bloque es recibido sin errores, es programado. Una vez han acabado las operaciones de programación, el usuario puede comprobar los resultados de la programación mediante el comando *Send\_status*(CMD13).

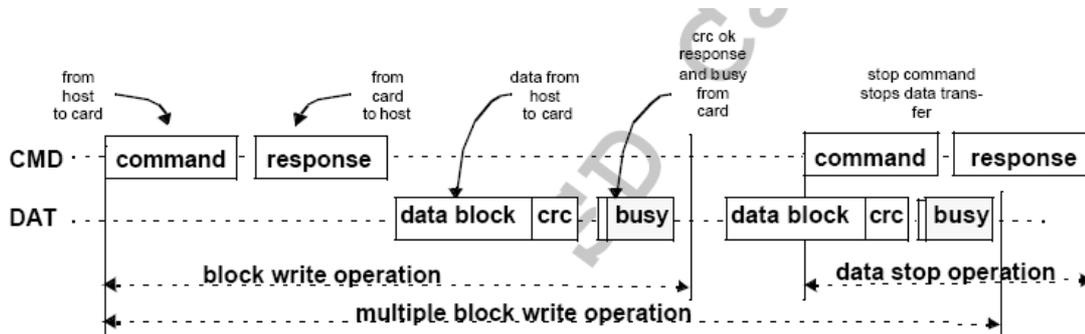


Fig 13.- Escritura de múltiples bloques.

- Secuencia de Reset:

Las tarjetas SD, después de enviarles el comando de *reset* (CMD0), entran en un estado en el que sólo son válidos los comandos CMD 8

(SEND\_IF\_COND), ACMD41 (SD\_SEND\_OP\_COND), CMD58 (READ\_OCR) y CMD59 (CRC\_ON\_OFF).

- Bloqueo y desbloqueo de la tarjeta:

El uso del bloqueo y el desbloqueo de la tarjeta en el modo SPI es idéntico al del modo SD. También se puede comprobar mediante el comando SEND\_STATUS (CMD13).

### 7.6.2. Tabla de comandos SD

Comandos	Abreviatura	Sistema SDMEM	Sistema SDIO	Comentarios
CMD0	GO_IDLE-STATE	Orden	Orden	Se usa para cambiar del modo SD al SPI
CMD2	ALL_SEND_CID	Orden		CID no soportado por SDIO
CMD3	SEND_RELATIVE-ADDR	Orden	Orden	
CMD4	SET_DSR	Opcional		DSR no soportdo por SDIO
CMD5	IO_SEND_OP_COND		Orden	
CMD6	SWITCH_FUNC	Orden	Orden	Añadido en la parte 1 v 1.10
CMD7	SELECT/DESELECT_CARD	Orden	Orden	
CMD9	SEND_CSD	Orden		
CMD10	SEND_CID	Orden		
CMD12	STOP_TRANSMISSION	Orden		
CMD13	SEND_STATUS	Orden		
CMD15	GO_INACTIVE_STATE	Orden	Orden	
CMD16	SET_BLOCKLEN	Orden		Se usa para definir el tamaño de los bloques.
CMD17	READ_SINGLE_BLOCK	Orden		
CMD18	READ_MULTIPLE_BLOCK	Orden		
CMD24	WRITE_BLOCK	Orden		
CMD25	WRITE_MULTIPLE_BLOCK	Orden		
CMD27	PROGRAM_CSD	Orden		CSD no es soportado por SDIO
CMD28	SET_WRITE_PROT	Opcional		

CMD29	CLR_WRITE_PROT	Opcional		
CMD30	SEND_WRITE_PROT	Opcional		
CMD32	ERASE_WR_BLK_START	Orden		
CMD33	ERASE_WR_BLK_END	Orden		
CMD38	ERASE	Orden		
CMD42	LOCK_UNLOCK	Opcional		
CMD52	IO_RW_DIRECT		Orden	
CMD53	IO_RW_EXTENDED		Orden	El modo bloqueo es opcional
CMD55	APP_CMD	Orden		
CMD56	GEN_CMD	Orden		
ACMD6	SET_BUS_WIDTH	Orden		
ACMD13	SD_STATUS	Orden		
ACMD22	SEND_NUM_WR_BLOCKS	Orden		
ACMD23	SET_WR_BLK_ERASE_COUNT	Orden		
ACMD41	SD_APP_OP_COND	Orden		
ACMD42	SET_CLR_CARD_DETECT	Orden		

### 7.6.3. Tabla de comandos SPI

Comandos	Abreviatura	Sistema SDMEM	Sistema SDIO	Comentarios
CMD0	GO_IDLE_STATE	Orden	Orden	Se usa para cambiar del modo SD al SPI
CMD1	SEND_OP_COND	Orden		
CMD5	IO_SEND_OP_COND		Orden	
CMD6	SWITCH_FUNC	Orden	Orden	Añadido en la parte v1.10
CMD9	SEND_CSD	Orden		CSD no es soportado por SDIO
CMD10	SEND_CD	Orden		CID no soportado por SDIO
CMD12	STOP_TRANSMISSION	Orden		
CMD13	SEND_STATUS	Orden		El estado de la tarjeta sólo incluye información SDMEM
CMD16	SET_BLOCKLEN	Orden		Se usa para definir el

				tamaño de los bloques.
CMD17	READ_SINGLE_BLOCK	Orden		Leer un único bloque.
CMD18	READ_MULTIPLE_BLOCK	Orden		Leer varios bloques.
CMD24	WRITE_BLOCK	Orden		Escribir un bloque.
CMD25	WRITE_MULTIPLE_BLOCK	Orden		Escribir varios bloques.
CMD27	PROGRAM_CSD	Orden		CSD no es soportado por SDIO.
CMD28	SET_WRITE_PROT	Opcional		
CMD29	CLR_WRITE_PROT	Opcional		
CMD30	SEND_WRITE_PROT	Opcional		
CMD32	ERASE_WR_BLK_START	Orden		
CMD33	ERASE_WR_BLK_END	Orden		
CMD38	ERASE	Orden		
CMD42	LOCK_UNLOCK	Opcional		
CMD52	IO_RW_DIRECT		Orden	
CMD53	IO_RW_EXTENDED		Orden	El modo bloqueo es opcional
CMD55	APP_CMD	Orden		
CMD56	GEN_CMD	Orden		
CMD58	READ_OCR	Orden		
CMD59	CREC_ON_OFF	Orden	Orden	
ACMD13	SD_STATUS	Orden		
ACMD22	SEND_NUM_WR_BLOCKS	Orden		
ACMD23	SET_WR_BLK_ERASE_COUNT	Orden		
ACMD41	SD_APP_OP_COND	Orden		
ACMD42	SET_CLR_CARD_DETECT	Orden		
ACMD51	SEND_SCR	Orden		SCR incluye sólo información SDMEM

## 7.7 BIBLIOGRAFÍA

SD Specifications- SDIO Simplified Specification v2.00  
SD Specifications- Physical Layer Simplified Specification v2.00  
dsPICPRO2 User's Manual  
Wikipedia, la enciclopedia libre