

VISUALIZADORES DE INFORMACIÓN
EN SISTEMAS BASADOS EN MICROCONTROLADORES:

DISPLAYS DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD)
PARA CARACTERES



NOCIONES BÁSICAS:

• ¿Qué son los cristales líquidos?

Son sustancias que presentan características duales de un cristal y de un líquido:

En un **cristal** las moléculas ocupan unas posiciones fijas en la estructura global y no se mueven respecto a las adyacentes, justo lo contrario que en un **líquido**. (¿ ?)

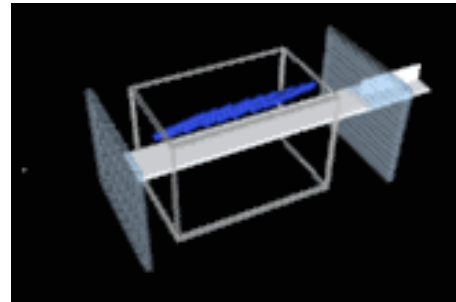
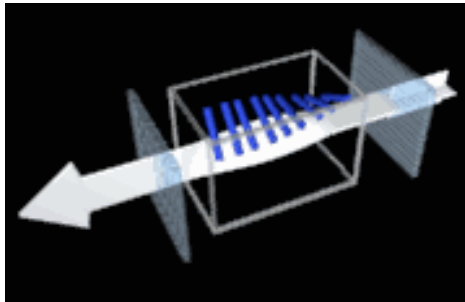
Las moléculas de un cristal líquido tienen una forma alargada y cilíndrica y la posición relativa entre ellas depende de diversos factores como son la **temperatura** y el **campo eléctrico** al que están sometidas



¿Cómo funcionan?

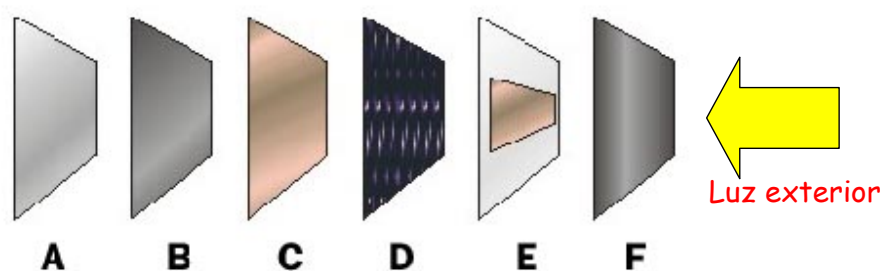
La aplicación de un campo eléctrico a estas sustancias provoca que la posición de sus moléculas cambie de una posición indeterminada a otra perfectamente uniforme

El cristal líquido será opaco o transparente en función de cómo estén organizadas las moléculas, que depende a su vez del campo eléctrico presente



Una **Pantalla de Cristal Líquido** consta de los siguientes elementos (desde atrás hacia delante):

- A.- Un espejo
- B.- Un filtro polarizador vertical
- C.- Una capa de vidrio con un electrodo transparente común (óxido de estaño)
- D.- Sucesivas capas de cristal líquido
- E.- Una capa de vidrio con un electrodo transparente y con las forma que se quiera representar
- F.- Un filtro polarizador horizontal

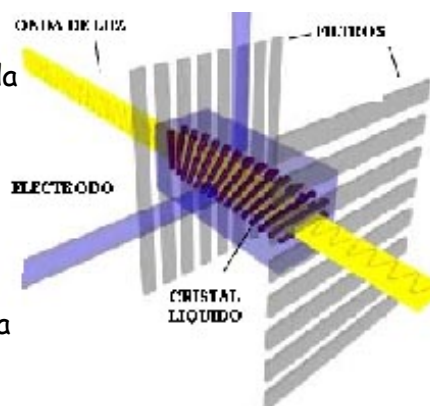


Comportamiento sin campo eléctrico entre electrodos:

•El cristal líquido está organizado en sucesivas capas de manera que la posición de las moléculas de cada capa está desfasada ligeramente respecto a las adyacentes hasta conseguir que entre la primera y la última capa haya un desfase total de 90° cuando no está presente ningún campo eléctrico

•La luz incidente sobre el display se hace pasar por un filtro óptico o polarizador que hace que la fase de las ondas de luz que lo atraviesan coincida con la fase de las moléculas de la primera capa, con lo que la luz atraviesa ésta y es entregada a la siguiente capa con su correspondiente desfase y así sucesivamente.

•Cuando la luz llega a la última capa, su fase ha cambiado 90° respecto a la entrante y se encuentra con un filtro posterior cuyo ángulo de filtrado está desfasado 90° respecto al primero. Por tal motivo este filtro es transparente a la luz que incide, que lo atraviesa y se refleja en un espejo.

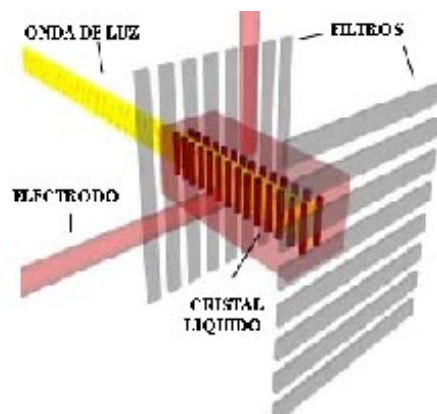


Comportamiento con campo eléctrico entre electrodos:

•Si se aplica un campo eléctrico en una zona determinada y en todas las capas del cristal, las moléculas de esa zona toman una posición igual y en fase con el primer filtro pero no con el posterior, no dejando pasar ésta la luz y por lo tanto no se refleja nada en el espejo posterior.

•Las zonas no afectadas por el campo eléctrico siguen siendo transparentes y se obtiene un contraste luz/oscuridad entre zonas transparentes y opacas

•El campo eléctrico se consigue mediante la aplicación de una tensión entre un electrodo que tiene la forma que se quiere visualizar (un punto, un segmento, un número, un icono,...) y otro electrodo común sin forma específica.





Circuitos Eléctricos:



•El modelo eléctrico equivalente de un LCD es el de un **condensador real**, el dieléctrico sería el cristal líquido y los electrodos serían, por un lado el común o posterior y el otro el que se corresponde con cada segmento, punto, etc. que sea posible representar

•La tensión entre los electrodos ha de ser **alterna** puesto que una **tensión continua** aunque también permitiría la visualización, provocaría una **electrolisis de los electrodos** y su posterior **destrucción**.

•La tensión de excitación entre electrodos se genera mediante circuitos electrónicos y un **oscilador de frecuencias** comprendidas entre varias **decenas y cientos de Hertzios** (frecuencias menores harían visibles efectos de parpadeo y mayores frecuencias elevarían en exceso el consumo del circuito)

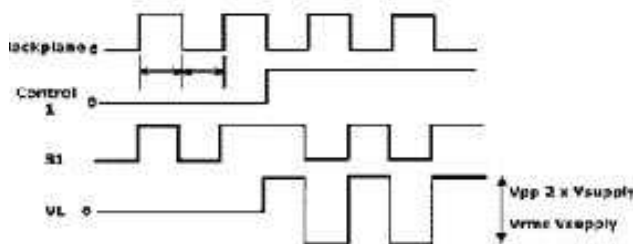
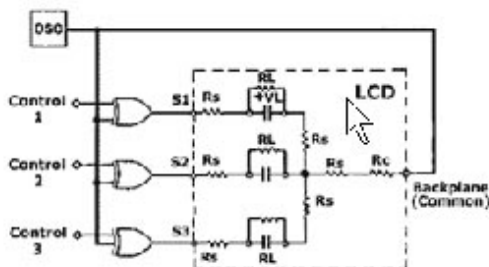


CONTROL DE LCD:

- Control estático: si hay pocos elementos a visualizar
- Control multiplexado: si son muchos los elementos de imagen

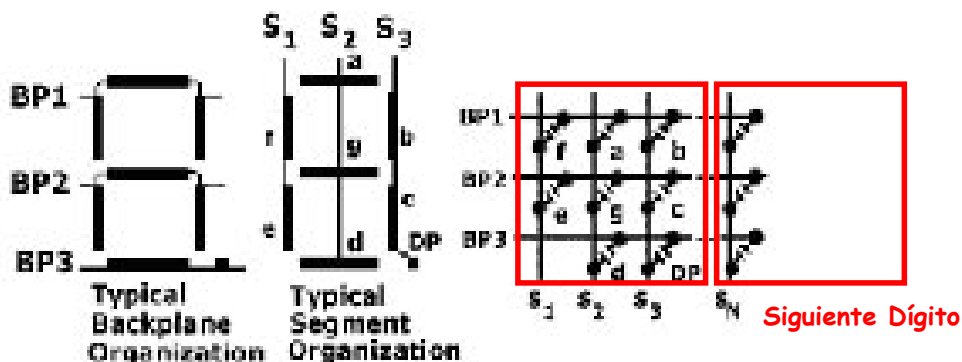
CONTROL ESTÁTICO:

El electrodo común está sometido a una tensión alterna permanente generada por el oscilador
 Los electrodos de los elementos de imagen están sometidos a la misma señal del oscilador si se desea que aparezcan como transparentes o a la señal del oscilador invertida si se desea que aparezcan como opacos



CONTROL MULTIPLEXADO (I):

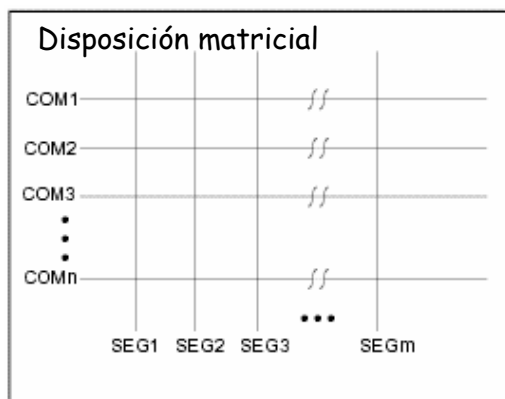
Se dispone de una matriz de dos grupos de líneas de control (filas y columnas) que se corresponden con los electrodos posteriores y con los electrodos frontales. Se van activando secuencialmente y la intersección de una fila (electrodo posterior) y una columna (electrodo frontal) genera la activación del correspondiente elemento de imagen



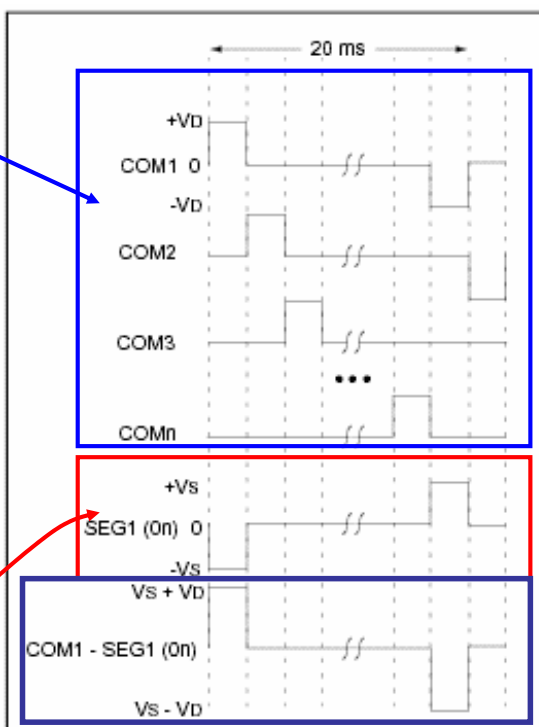
Control multiplexado de display numérico de 7 segmentos

CONTROL MULTIPLEXADO (II)

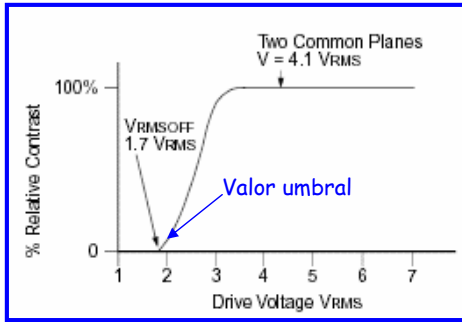
Los electrodos posteriores (COMn) mantienen siempre una forma de onda alterna e idéntica con **valor medio nulo**



Los electrodos de los segmentos que se quieren representar deben tener una forma como la indicada



CONTROL MULTIPLEXADO (III):

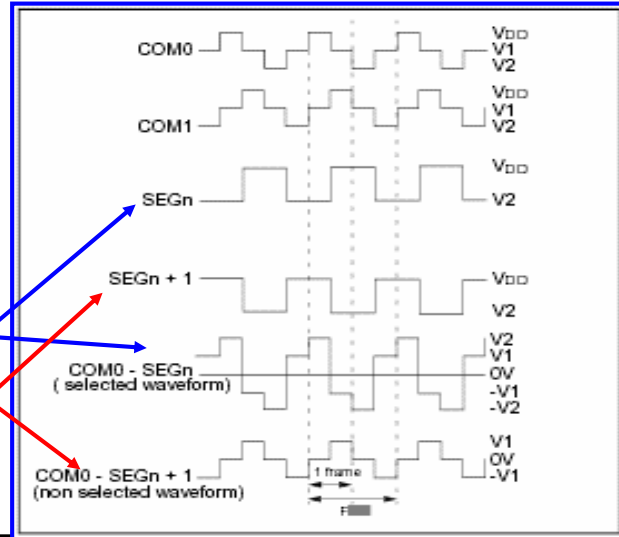


Relación contraste - valor eficaz de tensión entre los electrodos

Ejemplo de formas de onda aplicadas:

Con contraste

Sin contraste

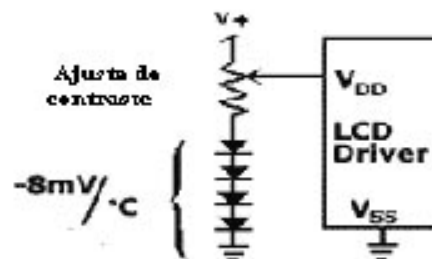


CONTRASTE DEL LCD:

La temperatura afecta a las propiedades del cristal, con demasiado frío el cristal es opaco y con temperaturas altas el cristal es transparente

La temperatura ambiente puede afectar de modo importante al contraste al igual que la tensión de excitación

Se pueden incluir circuitos de compensación de contraste como el que se muestra en la figura con diodos que se comportan como R dependientes de T^{α}



Tipos de LCD:

- Reflectivos: con espejo posterior que refleja la luz incidente. No sirven en ambientes sin luz pero tienen consumos muy bajos.
- Transmisivos: con un generador de luz posterior (incandescencia, cátodo frío, diodos led)
- Transreflectivos: mixtos combinación de los dos anteriores



TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN:

•De plano común:

Pocos electrodos posteriores para aplicaciones simples: relojes, calculadoras

•De matriz pasiva

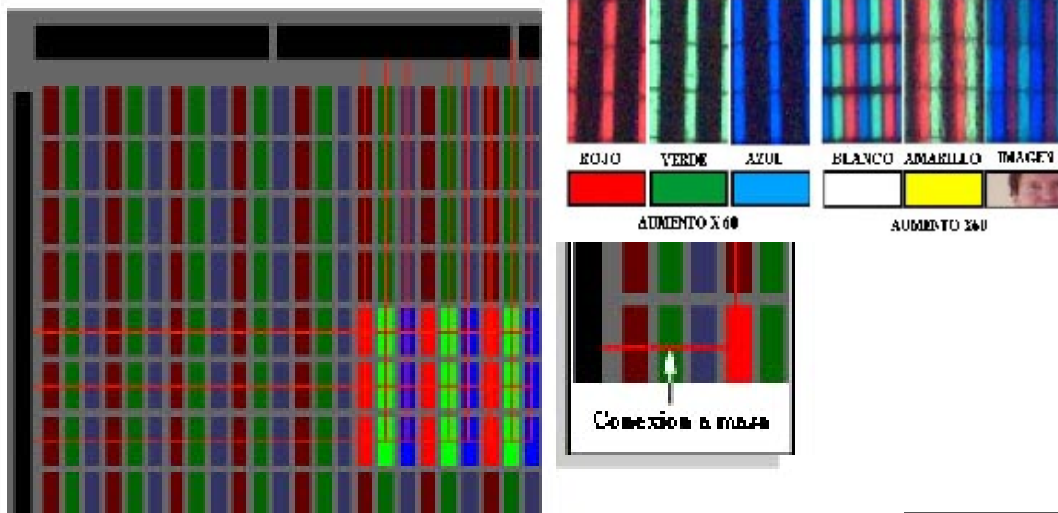
Para generar imágenes en una configuración matricial de electrodos en la parte frontal y en la posterior, la intersección de cada horizontal y vertical forma los puntos, elementos de imagen o píxeles. (256x256 líneas genera 65536 píxeles). Modo multiplexado y con circuitos integrados especializados

•De matriz activa (TFT)

En la cara interna posterior existe una matriz de transistores de película fina (*Thin Film Transistor*) y condensadores. La tensión de cada condensador puede controlar el nivel de contraste (escala de grises)

TECNOLOGÍAS DE LCD EN COLOR

- Cada píxel se divide en 3 sub-píxels, cada uno con un filtro óptico diferente
- Cada sub-píxel tiene su propio transistor/condensador que puede generar 256 niveles de contraste por lo que la combinación de colores posibles sería de $256 \times 256 \times 256 = 16,7$ millones de colores



Pantallas de Cristal Líquido (LCD)

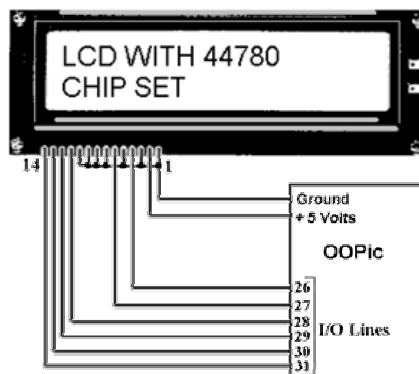
APLICACIONES BASADAS EN MICROCONTROLADORES:

- Representación de caracteres alfanuméricos
- Posibilidades:

a).- Control de electrodos: MCU muy "ocupado" generando las formas de onda necesarias para la representación (AN563 de Microchip)



b).- Usar LCD con driver específico (HD44780 de Hitachi)



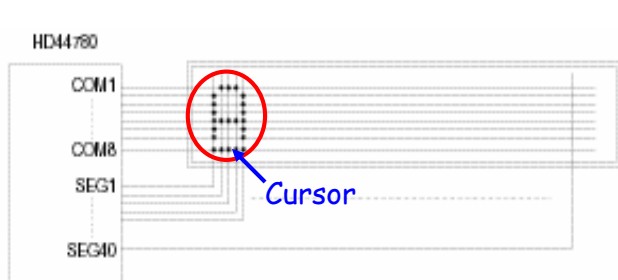
Comunicación MCU-Driver

Pantallas de Cristal Líquido (LCD)

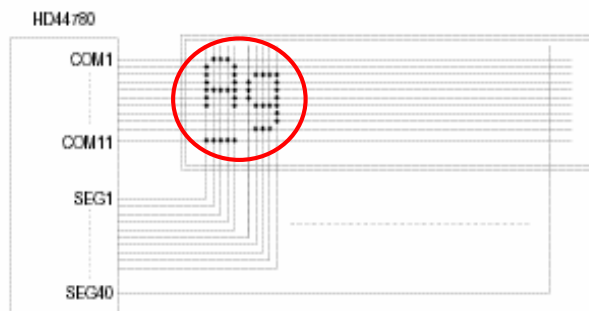
Interface con LCD con driver HD44780U ó compatible

Características HD44780:

- Driver para LCD de matriz de puntos para representación de caracteres y símbolos en formato 5x8 ó 5x10
- Dispone de 240 patrones de caracteres almacenados en ROM, de los cuales 208 son de tamaño 5x8 y 32 de tamaño 5x10



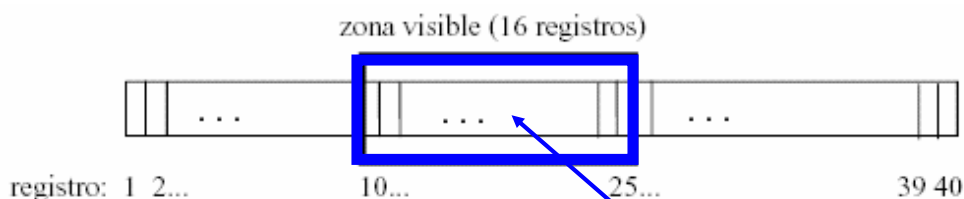
Ejemplo en 5x8 y 8 caracteres/línea



Ejemplo en 5x10 y 8 caracteres/línea

Características HD44780 (II):

- Memoria RAM de pantalla (DDRAM) de 80 posiciones x 8 bits/posición
- Contenido en 8 bits (DDRAM): código del carácter para un generador de caracteres ROM con 240 caracteres posibles 8 posiciones (dobles) para caracteres definibles por el usuario en una memoria CGRAM (caracteres gráficos)
- Visibles 1 ó 2 líneas de 16 caracteres/línea



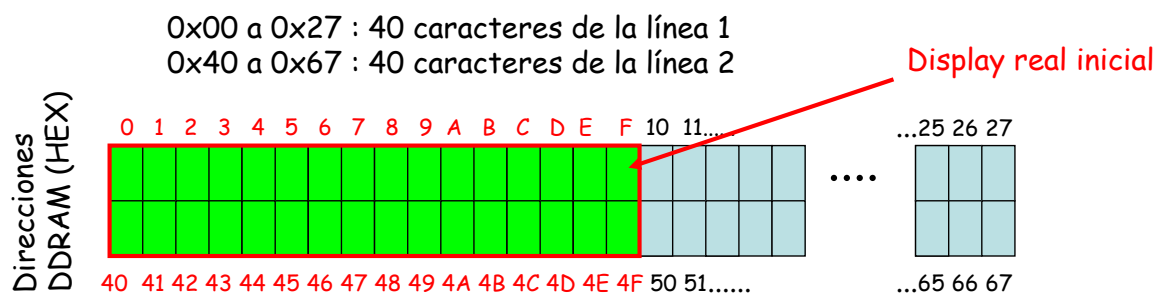
Memoria de pantalla para una línea (40 posiciones)
Display virtual

Ventana de caracteres visibles
Display real



DDRAM (Display Data RAM)

- Almacena el código de los caracteres que están siendo visualizados o que se encuentran en posiciones no visibles debido a la posición de la ventana de visualización.
- Tiene un tamaño de 2 líneas x 40 bytes/línea = 80 bytes.
- Direcciones no contiguas entre línea 1 y 2:



- Localización en display virtual (x,y) x: posición horizontal (de 1 a 40)
y: línea (1 ó 2)

Conexión de periférico a Microcon

Tabla de correspondencia entre códigos y patrones de caracteres (ROM A00)

Códigos para caracteres más usuales

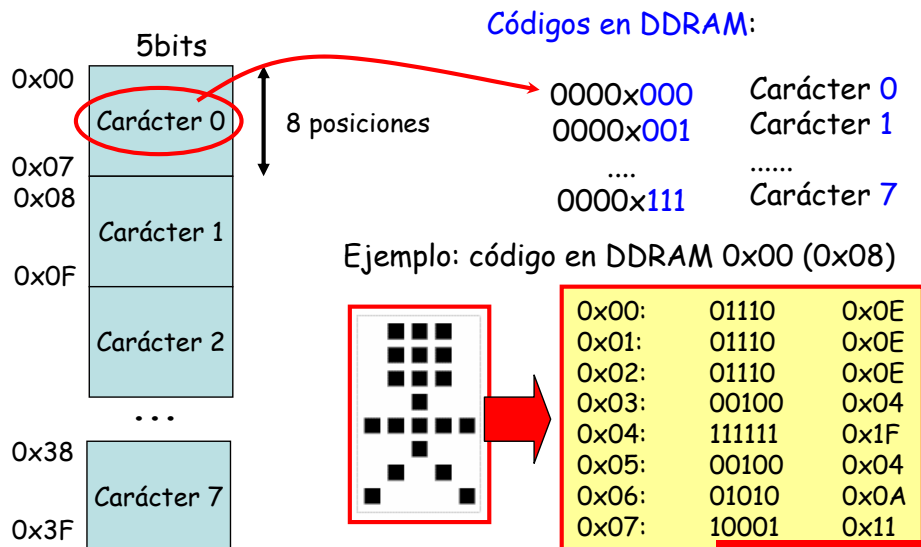
Códigos para patrones definibles por el usuario en CGRAM

Lower 4 Bits	Upper 4 Bits	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CGRAM (1)	0	1	2	3	4	5	6	7					8	9	A	P
xxxx0001	(2)	!	1	A	Q	a	q							.	7	7	4
xxxx0010	(3)	"	2	B	R	b	r							「	イ	ツ	×
xxxx0011	(4)	#	3	C	S	c	s							」	ウ	テ	ε
xxxx0100	(5)	\$	4	D	T	d	t							、	エ	ト	μ
xxxx0101	(6)	%	5	E	U	e	u							・	オ	ナ	1
xxxx0110	(7)	&	6	F	V	f	v							ヲ	カ	ニ	ヨ
xxxx0111	(8)	'	7	G	W	g	w							ア	キ	ヌ	ラ
xxxx1000	(1)	(8	H	X	h	x							イ	ク	ネ	リ
xxxx1001	(2))	9	I	Y	i	y							ウ	ケ	ル	リ
xxxx1010	(3)	*	:	J	Z	j	z							エ	コ	ン	レ
xxxx1011	(4)	+	;	K	L	k	l							オ	サ	ヒ	ロ
xxxx1100	(5)	,	<	L	#	l	#							カ	シ	フ	ワ
xxxx1101	(6)	-	=	M	I	m	i							ユ	ズ	ハ	ン
xxxx1110	(7)	.	>	N	^	n	^							ヨ	セ	ホ	ン
xxxx1111	(8)	/	?	O	_	o	_							ウ	リ	マ	ン



CGRAM (Character Generator RAM)

- Contiene los patrones (caracteres) definibles por el usuario
- Tamaño: 64 posiciones de 5 bits cada una, máximo 8 patrones
- Direcciones 0x00 a 0x3F



Contenido CGRAM

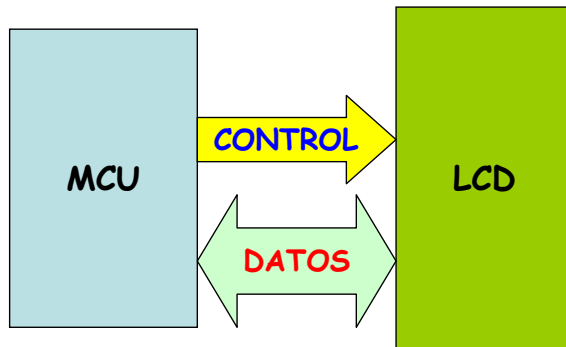


Interface Hardware LCD con driver HD44780 ó compatible

Pines externos:



Interface Hardware (II)



Datos: 8 bits internos LCD

Externos (2 posibilidades):

- 8 bits: D7 a D0
- 4 bits: D7 a D4

multiplexando datos:
 1º los 4 bits más altos
 2º los 4 bits más bajos

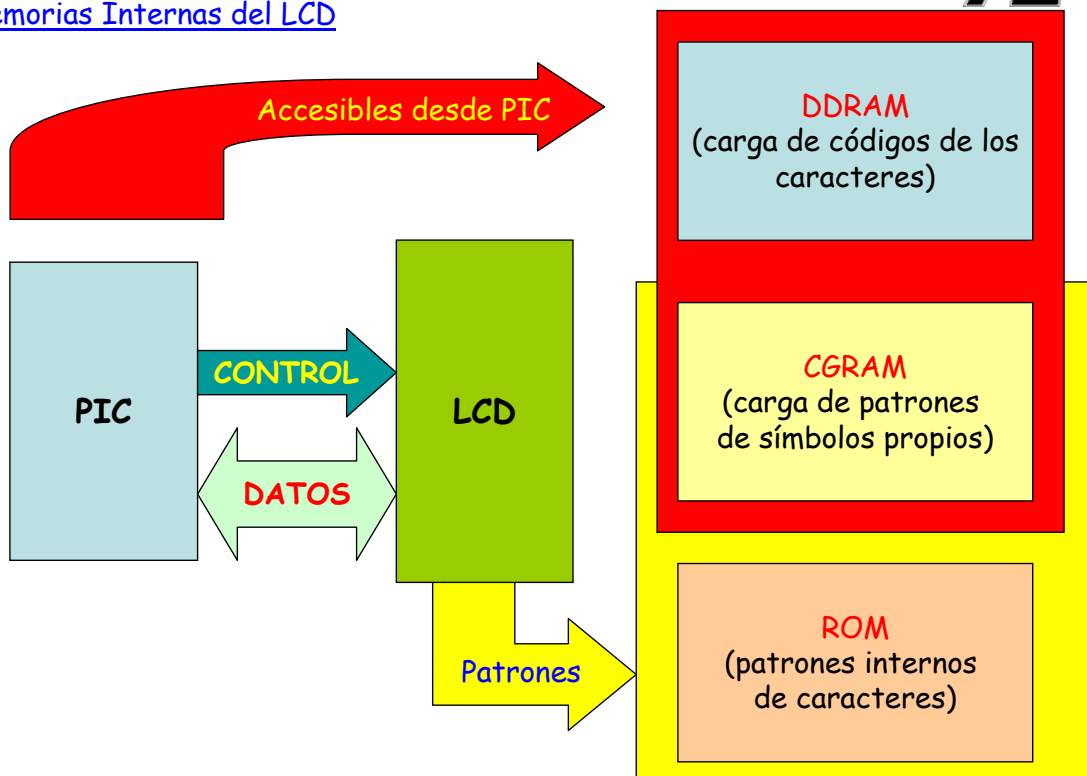
Bits de Control:

E: Validación de datos

R/W: Operación de lectura (a 1) o escritura (a 0)

RS: Selección de Registro Interno (1: datos / 0: control)

Memorias Internas del LCD





CONTROL DEL LCD:

- E: Señal de validación de datos, en las transferencias de información con el LCD (lecturas o escrituras) se debe poner a 1. Si no se usa el LCD debe permanecer a cero
- R/W: Selecciona lectura (1) o escritura (0) en el LCD. Lo normal es hacer escritura en LCD, pero es posible leer la RAM y el estado del LCD (ocupado o disponible) y el contador de direcciones
- RS: Se selecciona uno de los 2 Registros Internos del LCD:
 - a) IR (Registro de instrucciones): almacena códigos de instrucciones relativas al manejo del display: borrar display, desplazar cursor, definir interface a 4 ú 8 bits, etc.
 - b) DR (Registro de datos): almacena datos a leer o escribir en RAM



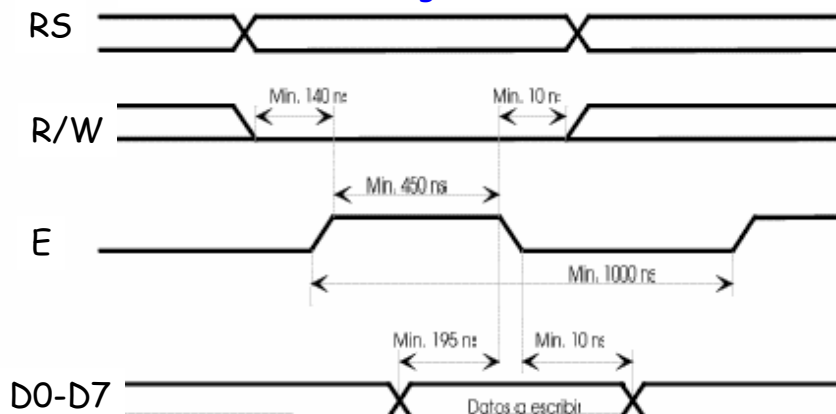
Operaciones de CONTROL:

	RS=0 Registro de Control	RS=1 Registro de Datos
R/W=1	Leer flag de ocupado (BF) y puntero de direcciones (AC)	Leer contenido de DDRAM o CGRAM
R/W=0	Envío de comando para funcionamiento interno	Escribir en DDRAM o CGRAM

- BF:** *Busy Flag* ó Flag de ocupado, si está a 1 el LCD está en modo de operación interna y no puede procesar nuevos comandos hasta que se pone a 0
- AC:** *Address Counter* ó Contador de Direcciones, es el puntero de la dirección de DDRAM ó CGRAM a la que se accedería con un comando de lectura o escritura de Registro de Datos. Tras una lectura o escritura a RAM, el puntero se incrementa/decrementa (depende modo) de manera automática

CRONOGRAMAS:

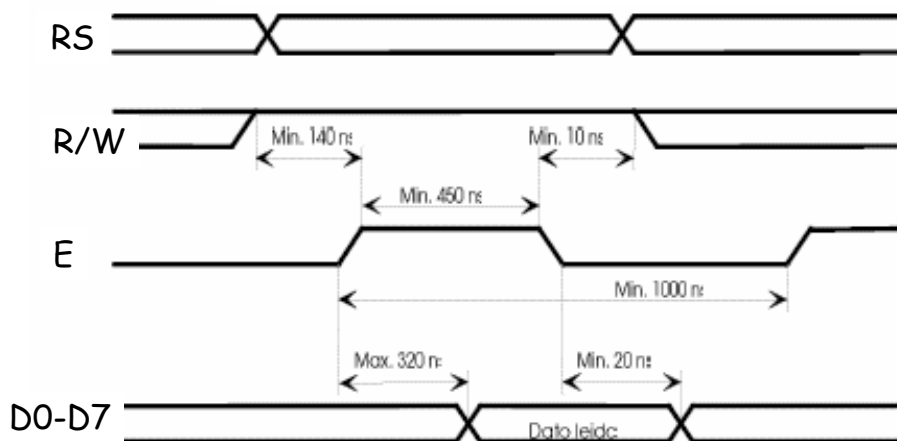
1.- Escritura de Registro del LCD (interface 8 bits)



- Secuencia:
- 1.- Señal E=0
 - 2.- RS=1 ó 0 y R/W=0
 - 3.- E=1
 - 4.- Situar dato en el bus
 - 5.- E=0

CRONOGRAMAS (II):

2.- Lectura de Registro del LCD (interface 8 bits)

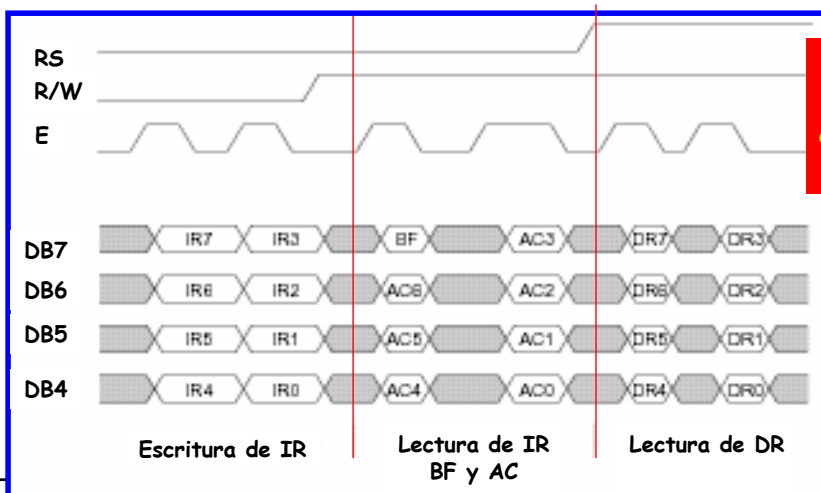


- Secuencia:
- 1.- Señal E=0
 - 2.- RS=1 ó 0 y R/W=1
 - 3.- E=1
 - 4.- Leer dato del bus
 - 5.- E=0



INTERFACE DE 4 BITS:

- Se multiplexan los 8 bits de datos en dos pasos: se envían o leen primero los 4 bits más significativos y luego los 4 bits menos significativos
- Permite ahorrar pines de conexión (7 frente a 11), pero el software del MCU es un poco más complejo, ocupa más memoria y se precisa más tiempo para hacer la transferencia completa



Ejemplo de cronogramas con interface de 4 bits



Comandos del LCD (1)

Instruction	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Description	Execution Time (max) (when f_{clk} or f_{bus} is 270 kHz)
Clear display Borrar Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Clears entire display and sets DDRAM address 0 in address counter.	
Return home Cursor a "Casa"	0	0	0	0	0	0	0	0	1	—	Sets DDRAM address 0 in address counter. Also returns display from being shifted to original position. DDRAM contents remain unchanged.	1.52 ms
Entry mode set Modo de Funcionamiento	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Sets cursor move direction and specifies display shift. These operations are performed during data write and read.	37 μ s
Display on/off control Control ON/OFF display, cursor y parpadeo	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Sets entire display (D) on/off, cursor on/off (C), and blinking of cursor position character (B).	37 μ s
Cursor or display shift Desplazar cursor/display	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	—	—	Moves cursor and shifts display without changing DDRAM contents.	37 μ s
Function set Transferencia y representación	0	0	0	0	1	DL	N	F	—	—	Sets interface data length (DL), number of display lines (N), and character font (F).	37 μ s
Set CGRAM address Situar puntero de dir. en CGRAM	0	0	0	1	ACG	ACG	ACG	ACG	ACG	ACG	Sets CGRAM address. CGRAM data is sent and received after this setting.	37 μ s
Set DDRAM address Situar puntero de dir. En DDRAM	0	0	1	ADD	ADD	ADD	ADD	ADD	ADD	ADD	Sets DDRAM address. DDRAM data is sent and received after this setting.	37 μ s
Read busy flag & address Leer flag de ocupado y puntero de dir.	0	1	BF	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	Reads busy flag (BF) indicating internal operation is being performed and reads address counter contents.	0 μ s



Comandos del LCD (2)

Instruction	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Description	Execution Time (max) (when f_{cp} or f_{osc} is 270 kHz)
Write data to CG or DDRAM	1	0	Write data								Writes data into DDRAM or CGRAM.	$37 \mu s$ $t_{ADD} = 4 \mu s^*$
Read data from CG or DDRAM	1	1	Read data								Reads data from DDRAM or CGRAM.	$37 \mu s$ $t_{ADD} = 4 \mu s^*$
<p>I/D = 1: Increment I/D = 0: Decrement S = 1: Accompanies display shift S/C = 1: Display shift S/C = 0: Cursor move R/L = 1: Shift to the right R/L = 0: Shift to the left DL = 1: 8 bits, DL = 0: 4 bits N = 1: 2 lines, N = 0: 1 line F = 1: 5×10 dots, F = 0: 5×8 dots BF = 1: Internally operating BF = 0: Instructions acceptable</p>												
<p>DDRAM: Display data RAM CGRAM: Character generator RAM ACG: CGRAM address ADD: DDRAM address (corresponds to cursor address) AC: Address counter used for both DD and CGRAM addresses</p>												

Note: — indicates no effect.

Después de ejecutar estos comandos, el puntero de direcciones se incrementa (o decrementa dependiendo del estado de I/D) en una unidad de manera automática.

El puntero se actualiza después de que BF pase a 0



Descripción de los Comandos:

Borrar Display:
00000001

Borra todas las posiciones de la DDRAM (0) y sitúa el display real en la posición inicial: desde la (1,1) hasta la (16,1) y desde la (1,2) hasta la (16,2)
Puntero en la posición 0 de la DDRAM



Cursor a "Casa":
0000001x

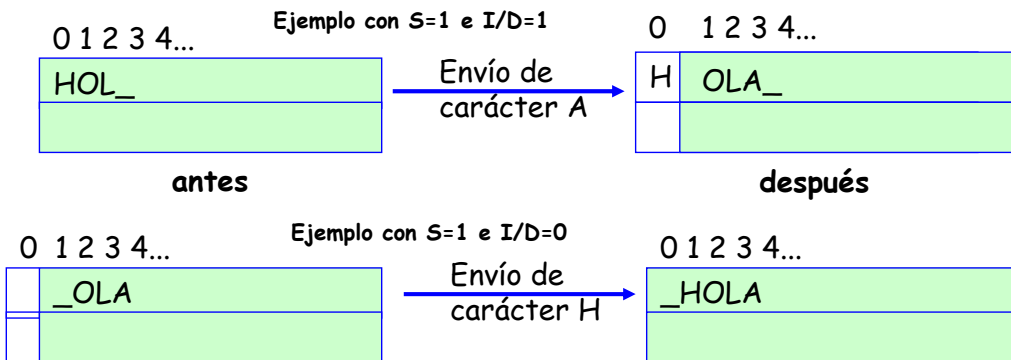
El cursor es un indicador de la posición que se puede escribir a continuación en el LCD, indica la posición actual del puntero de direcciones
El comando envía el cursor a la posición (1,1) (puntero en 0x00) y el display real se sitúa en la posición inicial
No se modifica el contenido de la DDRAM

Modo de Funcionamiento:
000001-I/D-S

I/D especifica incremento y desplazamiento del cursor a la dcha.(1) o decremento y desplaz. a izquierda en pantalla (0) cuando se realice una lectura o escritura en DDRAM.
Si S=1 se debe desplazar el display real cada vez que se imprime un carácter, el desplazamiento será a la dcha. o a la izq. dependiendo de I/D



Modo de Funcionamiento (sigue):



Control Display, Cursor, Parpadeo: Si D=0 el LCD no muestra nada pero la DDRAM mantiene su contenido 00001DCB se pueden enviar y leer normalmente pero no aparece nada en pantalla, pueden volver a visualizar los caracteres de la DDRAM poniendo D=1
 Si C=1 se hace visible el cursor que indica la siguiente posición donde se imprimiría el siguiente carácter que se envíe (es un segmento de 5 puntos en la 8ª línea)
 Si B=1 el carácter situado en la posición del cursor parpadea (a 2Hz aprox.)



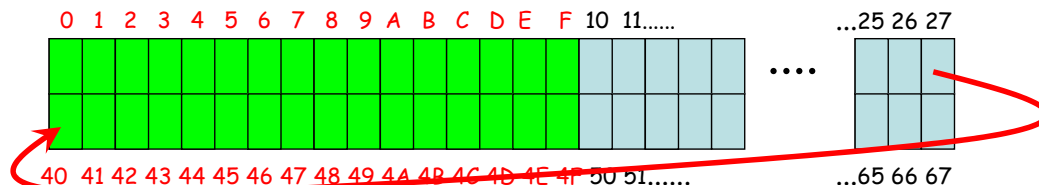
Desplazar cursor/display: Se emplea para desplazar una posición a dcha/izq el cursor o el display real sin escribir o leer la DDRAM.

0001-S/C-R/L-xx

Si lo que se desplaza es el cursor (S/C=0), también se modifica el contador (puntero) de direcciones. Si se desplaza el display real (S/C=1) no cambia el puntero de direcciones de la DDRAM

Si el display se define de una línea, al llegar a la posición final (carácter 40) se volvería a la primera con un desplazamiento del cursor

Si el display está definido para 2 líneas, tras el carácter 40 de la primera línea se pasaría al principio de la 2ª línea



R/L=1 desplazamiento a la derecha, R/L=0 a la izquierda

Transferencia y representación: DL define el tamaño del interface de datos externo, si DL=1 es de 8 bits y si DL=0 es de 4 bits

001-DL-N-F-xx

Si N=1 se gestionan 2 líneas y si N=0 se trata de una línea activa en el display
 Si F=1 se emplean patrones de tamaño 5x10 y si F=0 son de 5x8 puntos



Situar puntero de dir. en RAM:

0 1 A5 A4 A3 A2 A1 A0 para CGRAM
A5-A0 válidas de 0x00 a 0x3F

1 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0 para DDRAM
A6-A0 válidas de 0x00 a 0x27 para la primera línea
A6-A0 válidas de 0x40 a 0x67 para la segunda línea

Leer flag de ocupado y puntero de dir.: con la combinación adecuada en RS y R/W las líneas de datos del LCD pasan a ser salidas y en el puerto del MCU se lee estado de BF y dirección actual del contador

Enviar datos a DDRAM ó CGRAM: se carga la dirección de la DDRAM o la CGRAM a la que esté apuntando el contador de direcciones y éste se incrementa o decrementa dependiendo del estado configurado con I/D

Leer contenido de DDRAM ó CGRAM: se lee el contenido de una posición de DDRAM o CGRAM, dependiendo dónde esté apuntando el contador de direcciones. Tras la lectura, este contador se incrementa o decrementa dependiendo del modo configurado con I/D



Procesamiento de los comandos:

- El LCD precisa de un **cierto tiempo para procesar** los comandos que se le van enviando. Para que se ejecute un determinado comando, es necesario que se haya finalizado el anterior

- Posibilidades para asegurarlo:

a).- Esperar a que el flag de ocupado (BF) pase a 0

b).- Establecer pausas entre comandos, las pausas deben ser superiores a los tiempos máximos que aparecen especificados para cada comando

- Reset de inicialización en encendido con efectos:

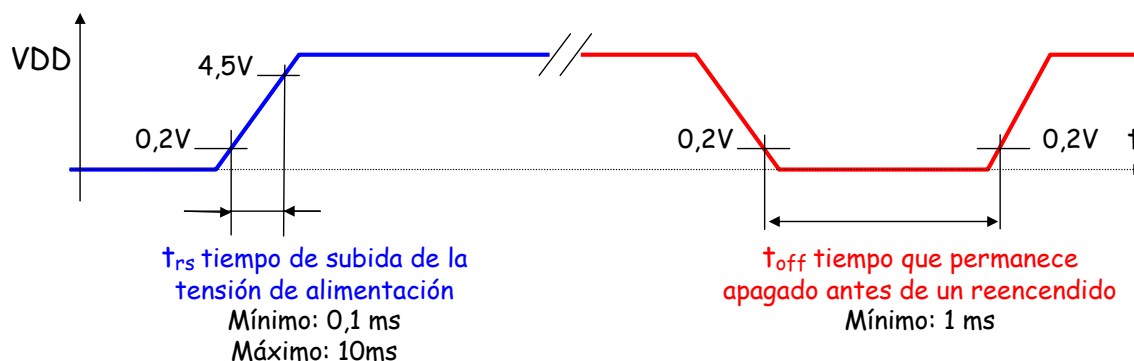
(tras paso por 4,5V inicialización dura 10ms aprox.)

Borrado de pantalla		
DL=1(8 bits)	N=0 (1 línea)	F=0 (5x8 ptos)
D=0 (Display off)	C=0 (cursor off)	B=0 (sin parpadeo)
I/D=1 (Incremento)	S=0 (sin desplaz.)	

BF=1 durante inicialización

Inicialización por Software:

El circuito de reset interno del LCD funcionará correctamente si la tensión de alimentación cumple unas determinadas condiciones:



El tiempo que tarda la tensión de alimentación en pasar desde 0,2V hasta 4,5V debe situarse entre un máximo y un mínimo especificado.

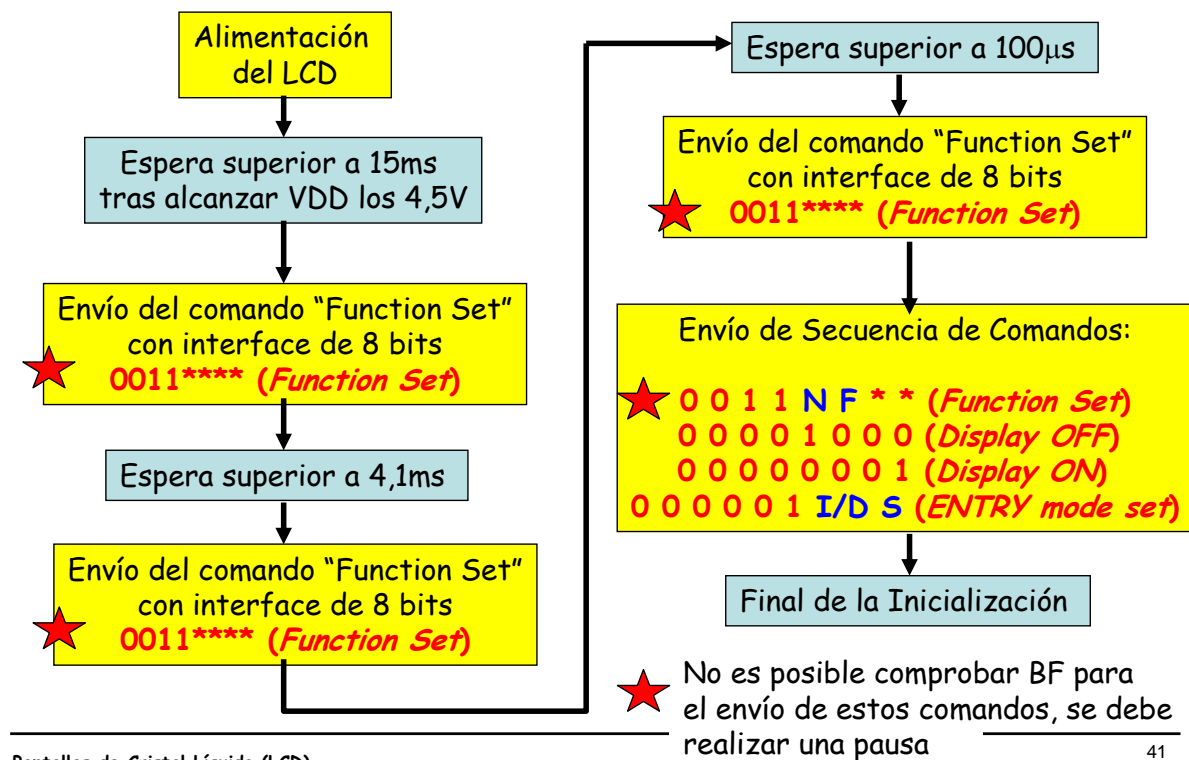
El tiempo que debe transcurrir entre un apagado y un encendido debe ser superior a 1ms.

Inicialización por Software (II):

- Si no se cumplen las condiciones anteriormente expuestas, será necesario inicializar adecuadamente el LCD por software mediante una secuencia de instrucciones determinada.
- Se enviarán un "comando" repetido sin intención de configurar el LCD sino con el propósito de inicializar el microcontrolador. Tras la repetición de ese comando, se envían los comandos de configuración.
- Durante la secuencia de inicialización, el LCD no está en condiciones de responder si está listo con el flag BF, por ese motivo y para asegurar que el LCD los ha procesado se deben realizar unas pausas superiores a la duración especificada para los comandos.
- La secuencia es ligeramente distinta dependiendo de que el interface se realice con 8 ó 4 bits



Secuencia de Inicialización para Interface de 8 bits



Secuencia de Inicialización para Interface de 4 bits

