uc3m

Departamento Tecnología Electrónica

Tema 6: GPIO y Funciones Alternativas

Sistemas Digitales Basados en Microprocesadores

Universidad Carlos III de Madrid

Dpto. Tecnología Electrónica

Índice

1 – Conceptos previos

Conceptos Previos

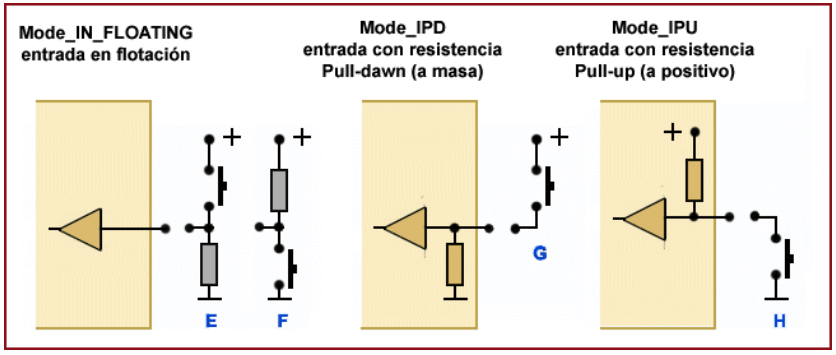
- El STM32L152RB tiene 49 pines disponibles, pero tal como se vio en la transparencia 13 del tema 5, sólo podéis usar los que están marcados en rojo mientras no os digamos lo contrario:
  - GPIOA: 16 pines de propósito general (PA0 – PA15)
    - En el sistema de desarrollo del curso sólo tiene accesibles el **PA0 (Botón USER) de la placa, PA4, PA5, PA11 y PA12**
  - GPIOB: 16 pines de propósito general (PB0 – PB15)
    - Disponibles solo el **PB6 (LED Azul de la placa) y PB7 (LED Verde de la placa)**
  - GPIOC: 16 pines de propósito general (PC0 – PC15)
    - Disponibles solo el **PC12 y PC13**
  - GPIOD: 1 pin de propósito general PD2
    - **PD2** disponible en el sistema de desarrollo del curso
  - GPIOH: **PH1** disponible si no se usa el oscilador externo

- La mayoría de los pines del microcontrolador tienen varias funcionalidades, es decir, además de ser pines de entrada/salida, tienen otras ***funciones alternativas***
- Por lo tanto primero habrá que seleccionar la funcionalidad del pin, luego configurarlo y luego usarlo.

2 – Funcionalidad del pin

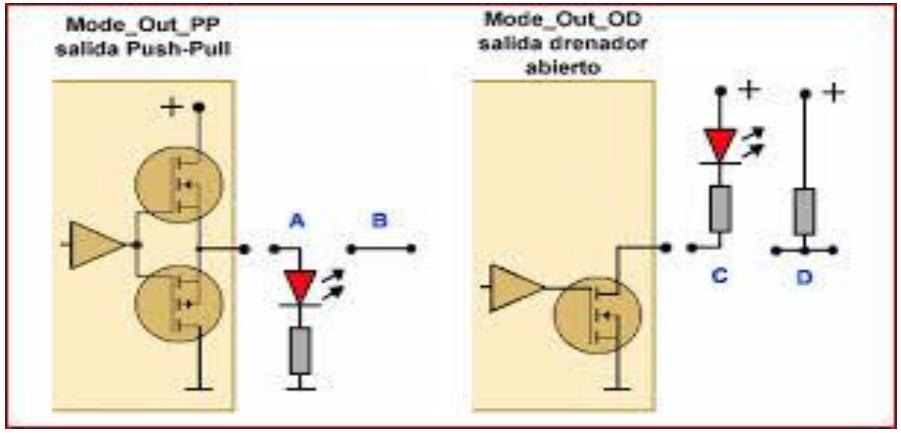
Funcionalidad del Pin (1)

- Cada pin puede ser configurado como:
  - **1) Entrada digital (digital input)**
    - Flotante -> Que significa "entrada en flotación". En esta configuración de pin del microcontrolador no posee polarización propia y la tensión la proporcionan los componentes exteriores, dando e circuitol E una lógica positiva, pulsador cerrado = 1, pulsador abierto = 0, y el F lógica negativa, pulsador cerrado = 0, pulsador abierto = 1.
    - Con resistencia de pull-dawn -> Que significa “entrada forzada a masa”, a causa de la resistencia interna unida a masa, como el caso G. La lógica es positiva, con pulsador abierto = 0 y pulsador cerrado = 1
    - Con resistencia de pull-up-> Que significa “entrada forzada a positivo”, por la resistencia interna que en este caso está entre la línea de entrada y el positivo de alimentación. Este modo opera de modo inverso del anterior y por tanto su lógica es negativa: pulsador abierto = 1, pulsador cerrado = 0



Funcionalidad del Pin (2)

- Cada pin puede ser configurado como:
  - **2) Salida digital (digital output)**
    - Con salida push-pull -> Un tipo de circuito que fuerza la tensión de salida con independencia de donde esté conectada la carga. En la forma en A se conectaría un LED con su resistencia limitadora desde el punto de salida a masa, y en B como atacaría esta salida cualquier otra entrada de media impedancia. La lógica es positiva, pin activado = 1, pin desactivado = 0
    - Con salida en drenador abierto -> en que el transistor final actúa sólo como interruptor y necesita de aporte externo de tensión para manifestar su estado. En el caso C el LED estará conectado entre el pin de salida y el positivo, y al conducir el transistor, se iluminará. La lógica será positiva, pin activado = 1, pin desactivado = 0. En el caso D la resistencia externa forma junto al transistor interno un circuito inversor, y por tanto la lógica de la señal resultante será negativa, pin activado = 0, pin desactivado = 1.



  - **3) Analógica (analog)**
  - **4) Función alternativa (alternate function – AF)**

3 – GPIO: Registros de control

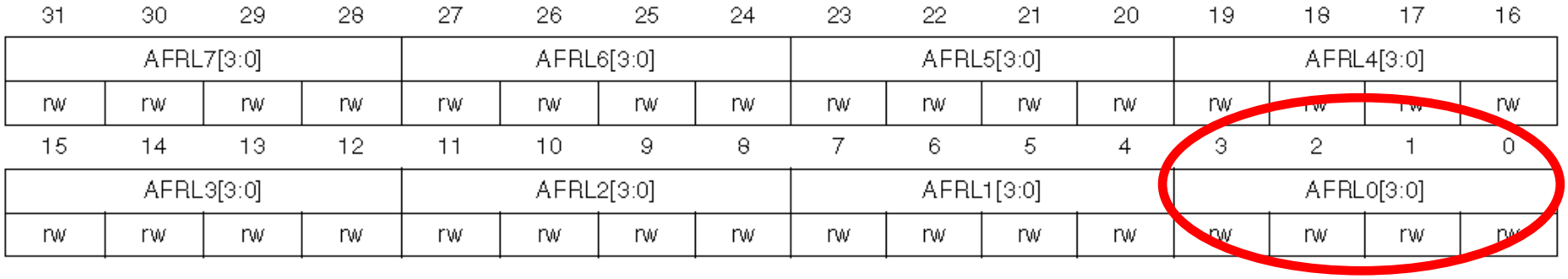
GPIO: Registros de Control

- GPIOx→MODER – Selección del modo de uso del PIN:
  - Se trata de un registro de 32 bits para cada uno de los puertos
    - `GPIOA->MODER`
    - `GPIOB->MODER`
    - `GPIOC->MODER`
    - `GPIOD->MODER`
  - Cada pin tiene 4 posibilidades de configuración:
    - 00 – Digital Input
    - 01 – Digital Output
    - 10 – AF
    - 11 – Analógico

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
MODER15[1:0]		MODER14[1:0]		MODER13[1:0]		MODER12[1:0]		MODER11[1:0]		MODER10[1:0]		MODER9[1:0]		MODER8[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MODER7[1:0]		MODER6[1:0]		MODER5[1:0]		MODER4[1:0]		MODER3[1:0]		MODER2[1:0]		MODER1[1:0]		MODER0[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

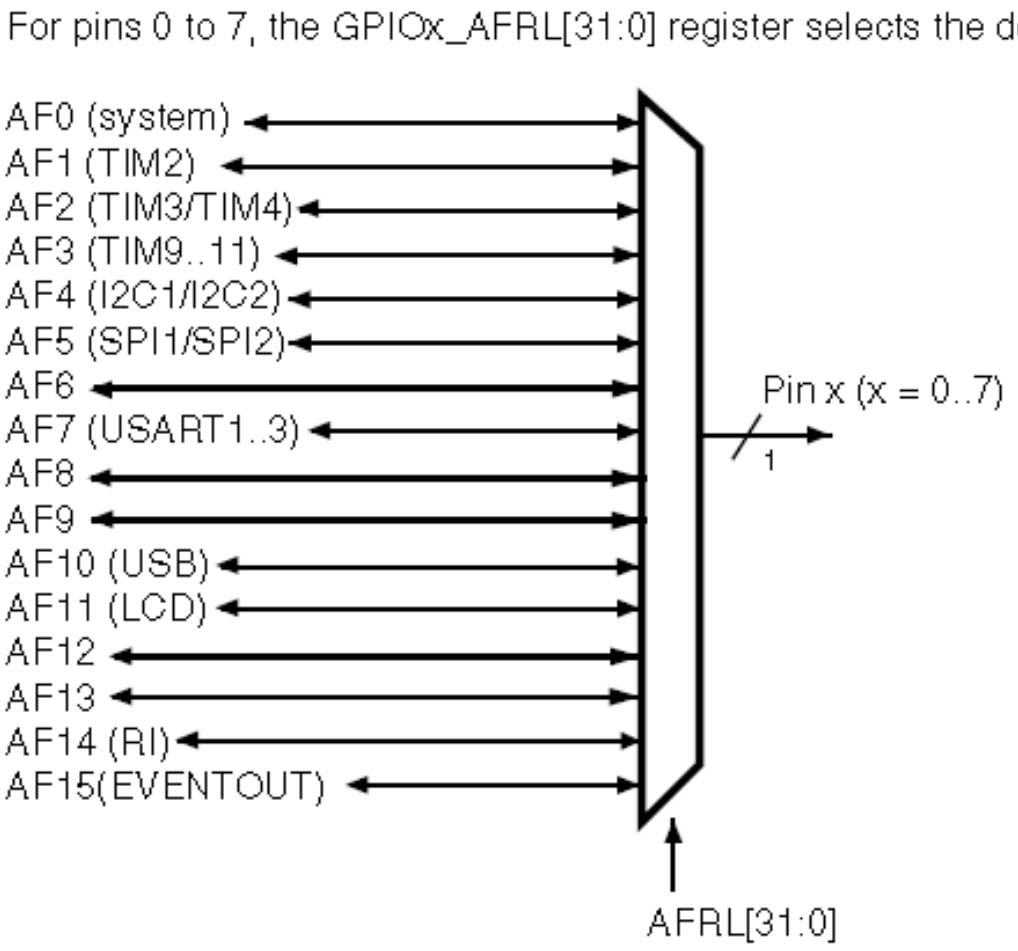
GPIO: Registros de Control

- GPIOx→AFR – Configuración de la AF (en el caso de que se haya seleccionado funcionalidad AF) :
  - Se trata de dos registros de 32 bits para cada uno de los puertos. Por ejemplo:
    - `GPIOA->AFR[0]` para los pines 0 – 7
    - `GPIOA->AFR[1]` para los pines 8 – 15
  - Cada pin tiene las 16 posibilidades siguientes:
    - 0000 – AF0, 0001 – AF1, …, 1111 – AF15



GPIO: Registros de Control

- GPIOx→AFR – Cada uno de estos valores (0000 … 1111) significa una función alternativa determinada



GPIO: Registros de Control

- GPIOx→OTYPER – Output Type Register *(como regla general no se usará este curso)*:
  - Registro de 32 bits (p.ej. `GPIOA->OTYPER`), con 16 bits útiles, uno para cada pin:
    - 0 – Salida por push-pull (configuración por defecto)
    - 1 – Salida en drenador abierto

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OT15	OT14	OT13	OT12	OT11	OT10	OT9	OT8	OT7	OT6	OT5	OT4	OT3	OT2	OT1	OT0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

- GPIOx→OSPEEDR – Output Speed Register *(como regla general no se usará este curso)*:
  - Registro de 32 bits (p.ej. `GPIOA->OSPEEDR`), con 2 bits por pin:
    - 00 – 400KHz (configuración por defecto)
    - 01 – 2MHz
    - 10 – 10MHz
    - 11 – 40MHz

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
OSPEEDR15[1:0]		OSPEEDR14[1:0]		OSPEEDR13[1:0]		OSPEEDR12[1:0]		OSPEEDR11[1:0]		OSPEEDR10[1:0]		OSPEEDR9[1:0]		OSPEEDR8[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
OSPEEDR7[1:0]		OSPEEDR6[1:0]		OSPEEDR5[1:0]		OSPEEDR4[1:0]		OSPEEDR3[1:0]		OSPEEDR2[1:0]		OSPEEDR1[1:0]		OSPEEDR0[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

GPIO: Registros de Control

- GPIOx→PUPDR – Pull-up/Pull-down register *(como regla general no se usará este curso)*:
  - Registro de 32 bits (p.ej. `GPIOA->PUPDR`) con 2 bits por pin:
    - 00 – Sin pull-up ni pull-down, flotante (configuración por defecto)
    - 01 – Pull-up
    - 10 – Pull-down
    - 11 – Reservada

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
PUPDR15[1:0]		PUPDR14[1:0]		PUPDR13[1:0]		PUPDR12[1:0]		PUPDR11[1:0]		PUPDR10[1:0]		PUPDR9[1:0]		PUPDR8[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PUPDR7[1:0]		PUPDR6[1:0]		PUPDR5[1:0]		PUPDR4[1:0]		PUPDR3[1:0]		PUPDR2[1:0]		PUPDR1[1:0]		PUPDR0[1:0]	
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

4 – GPIO: Registros de datos

GPIO: Registros de Datos

- GPIOx→IDR – Input Data Register:
  - Registro de 32 bits (p. ej. `GPIOA->IDR`), con solo 16 útiles, 1 por bit
  - Se obtiene el valor que tiene el bit en cada momento

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Reserved															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
IDR15	IDR14	IDR13	IDR12	IDR11	IDR10	IDR9	IDR8	IDR7	IDR6	IDR5	IDR4	IDR3	IDR2	IDR1	IDR0
r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r

GPIO: Registros de Datos

- GPIOx→BSRR – Bit Set/Reset Register:
  - Se descompone en 2 mitades de 16 bits:
    - La mitad menos significativa (los bits del 0 al 15) son para poner '1' en el pin correspondiente (funcionalidad de SET)
      - En aquellos bits donde se escribe un 1, ese pin (si es una salida) se pone a '1'.
      - Aquellos bits en los que se escribe un 0, no sufren cambios
    - La mitad más significativa (los bits del 16 al 31) son para poner '0' en el pin correspondiente (funcionalidad de RESET)
      - En aquellos bits donde se escribe un 1, ese pin (si es una salida) se pone a '0'.
      - Aquellos bits en los que se escribe un 0, no sufren cambios

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BR15	BR14	BR13	BR12	BR11	BR10	BR9	BR8	BR7	BR6	BR5	BR4	BR3	BR2	BR1	BR0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BS15	BS14	BS13	BS12	BS11	BS10	BS9	BS8	BS7	BS6	BS5	BS4	BS3	BS2	BS1	BS0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

GPIO: Registros de Datos

- GPIOx→BSRR – Bit Set/Reset Register:
  - Versiones antiguas del uVision dividían este registro en 2:
    - Uno llamado GPIOx->BSSRH correspondiente a la parte alta del BSRR, es decir, a la funcionalidad de RESET
    - Otro llamado GPIOx->BSSRL correspondiente a la parte baja del BSRR, es decir, a la funcionalidad de SET
  - Sólo hay que hacer las siguientes transformaciones en el código:
    - GPIOB->BSRRL = (1<<14); pasa a ser GPIOB->BSRR = (1<<14);
    - GPIOB->BSRRH = (1<<7); pasa a ser GPIOB->BSRR = (1<<7)<<16;

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
BR15	BR14	BR13	BR12	BR11	BR10	BR9	BR8	BR7	BR6	BR5	BR4	BR3	BR2	BR1	BR0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BS15	BS14	BS13	BS12	BS11	BS10	BS9	BS8	BS7	BS6	BS5	BS4	BS3	BS2	BS1	BS0
w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w

5 – GPIO: Registros de estado

GPIO: Registros de Estado

- El periférico GPIO no tiene Registros de Estado

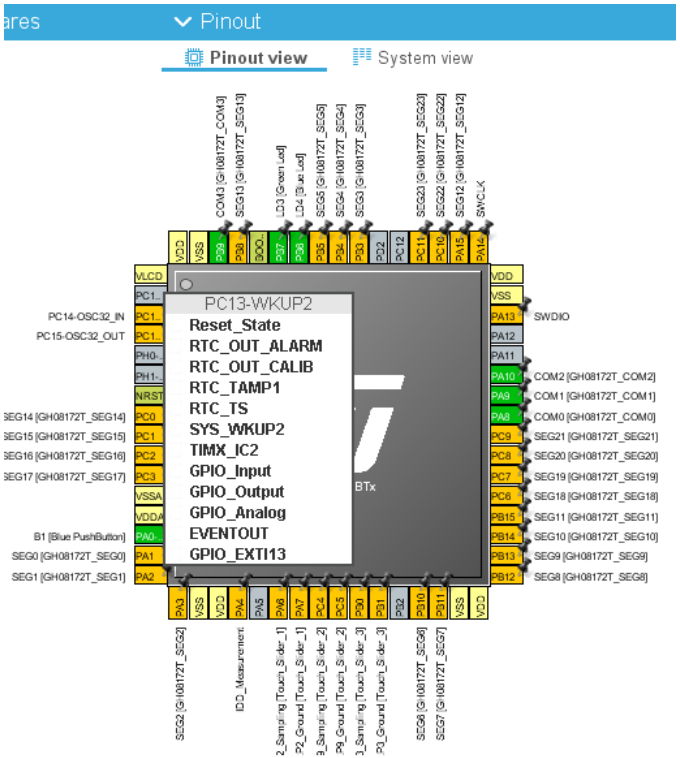
6 – Ejemplo de uso del GPIO

Peculiaridades al usar la Discovery y el CubeMX

- GPIO A:
  - **PA0: Botón USER** + Wake-up for low IDD
  - PA1 – PA3: LCD
  - PA4: IDD measurement
  - **PA5: Libre**
  - **PA6, PA7: Linear touch**
  - PA8 – PA10: LCD
  - **PA11, PA12: Libre**
  - **PA13, PA14: SWD**
  - PA15: LCD
- GPIO B:
  - **PB0, PB1: Linear touch**
  - **PB2: Boot**
  - PB3 – PB5: LCD
  - **PB6, PB7: LEDs (pull down + LED)**
  - PB8 – PB15: LCD
- GPIO C:
  - PC0 – PC3: LCD
  - **PC4, PC5: Linear touch**
  - PC6 – PC11: LCD
  - **PC12: Libre**
  - PC13: IDD measurement
    - **Modifica el comportamiento del PA0 salvo que se configure como Reset or Input**
  - PC14, PC15: Oscillator 32
- GPIO D:
  - **PD2: Libre**
- GPIO H:
  - PH0, **PH1 Libre**: Oscillator

Peculiaridades al usar la Discovery y el CubeMX

- En la Placa Discovery, PA0 también está conectado a una circuitería activada por el PC13. Por tanto, si se quiere utilizar el PA0, habrá que asegurarse que PC13 está configurado como Input
  - Para hacerlo, en Cube MX pulsar en el pin PC13, y seleccionar la opción sedeada para GPIO
- PH1 puede ser usada como GPIO
  - Para hacerlo, en Cube MX pulsar en el pin PH1, y seleccionar la opción deseada para GPIO en el menú emergente



Uso de Máscaras en Programación (1)

- Cuando se programa sobre micros es vital mantener la buena práctica de “sólo se modifica lo que queremos modificar, lo demás hay que dejarlo como está”
- Por ejemplo, imaginemos que en un enunciado, se pide que los pines PA0 – PA7 sean de salida. Esto implica que el registro GPIOA->MODER debe tener los bits correspondientes a esos puertos a valor 01
- Si se tuviese la tentación de escribir: **GPIOA->MODER = 0x00005555;** sería totalmente incorrecto, ya que sí que está poniendo esos pines como salida, pero está poniendo el resto como entradas (y puede que esos otros pines se estén utilizando para otra función).
- Por lo tanto hay que programar dejando los demás sin modificar.
- Para hacer esto habría que utilizar operaciones con máscaras. Esto se puede hacer de muchas formas pero vamos a mostrar 3 métodos.

Uso de Máscaras en Programación (2)

- Método 1: Crear una máscara binaria completa con codificación hexadecimal. Por ejemplo:
  - **GPIOA->MODER &= ~(0x0000FFFF); // forzamos a '0' todos los bits que queremos poner a '0' (en este ejemplo, del 0 al 15)**
  - **GPIOA->MODER |= 0x00005555; // ponemos a '1' sólo en los bits que necesitemos (en este ejemplo, los bits 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2, 0)**
- Método 2: Crear la máscara haciendo desplazamiento de '1's un determinado número de bits
  - **GPIOA->MODER &= ~(0x0000FFFF); // forzamos a '0' todos los bits que queremos poner a '0' (en este ejemplo, del 0 al 15)**
  - **GPIOA->MODER |= ((1<<14) | (1<<12) | (1<<10) | (1<<8) | (1<<6) | (1<<4) | (1<<2) | (1<<0)); // ponemos a '1' sólo en los bits que necesitemos (en este ejemplo, los bits 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2, 0)**

Uso de Máscaras en Programación (3)

- Método 3: Crear unos #defines compatibles con la función OR, para ser utilizado en cada uno de los bits correspondientes
  - Para este método debe crear en un fichero .h (por ejemplo Utiles_SDM.h) los #defines para cada uno de los bits
    - **#define BIT_0 0x00000001**
    - **#define BIT_1 0x00000002**
    - **#define BIT_2 0x00000004**
    - **…**
    - **#define BIT_30 0x40000000**
    - **#define BIT_31 0x80000000**
  - Y luego, en su código, utilizarlos. Por ejemplo:
    - **GPIOA->MODER &= ~(BIT_15 | BIT_13 | BIT_11 | BIT_9 | BIT_7 | BIT_5 | BIT_3 | BIT_1); // pone '0' en los bits 15, 13, 11, 9, 7, 5, 3 y 1**
    - **GPIOA->MODER |= (BIT_14 | BIT_12 | BIT_10 | BIT_8 | BIT_6 | BIT_4 | BIT_2 | BIT_0); // pone '1' en los bits 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2 y 0**

Ejemplo de Uso

- El siguiente ejemplo configura el uso del LED verde y del LED azul, y establece un ciclo de encendidos y apagados:
  - Inicialización

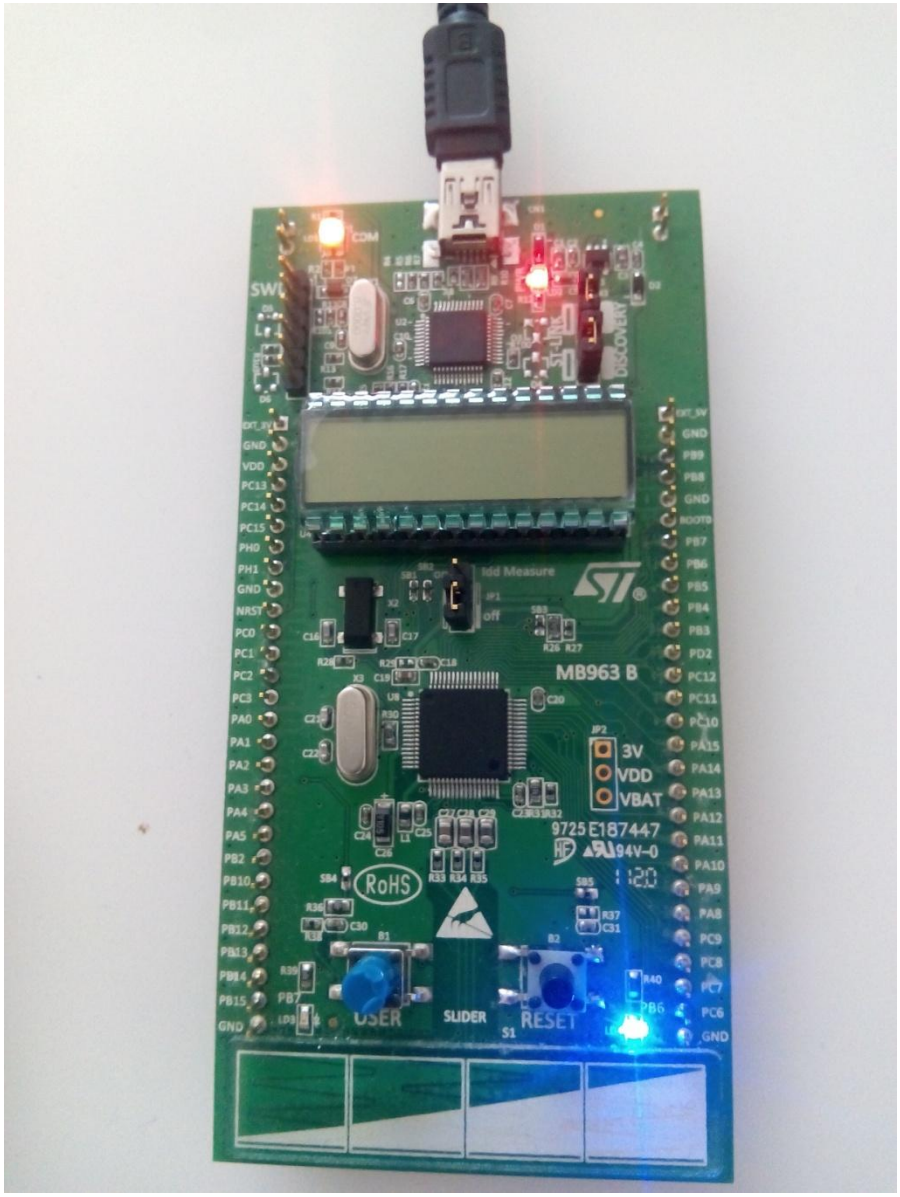
```
/* USER CODE BEGIN 2 */

   // PB6 (LED Azul) como salida digital (01)
   GPIOB->MODER &= ~(1 << (6*2 +1)); // 0 en el bit deseado = AND de MODER con el inverso de un
                                     // "1" en la posición
                                     // 13 y el resto "0" (1 << (6*2 +1) -> "1" desplazado 13
                                     // veces desde la derecha)
   GPIOB->MODER |= (1 << (6*2));     // 1 en el bit deseado = OR de MODER con un "1" en la
                                     // posición 12 y el resto "0".
                                     // (1 << (6*2)) -> "1" desplazado 12 veces desde la derecha)

   // PB7 (LED Verde) como salida digital (01)
   GPIOB->MODER &= ~(1 << (7*2 +1));
   GPIOB->MODER |= (1 << (7*2));

 /* USER CODE END 2 */
```

Ejemplo de Uso

- Funcionamiento continuo:

```
/* USER CODE BEGIN WHILE */

      while (1) {

      // Enciende el Led Verde y no el Led Azul
      GPIOB->BSRR = (1<<7);
      GPIOB->BSRR = (1<<6)<<16;
      espera(5000000);

      // Enciende el Led Verde y el Led Azul
      GPIOB->BSRR = (1<<7);
      GPIOB->BSRR = (1<<6);
      espera(5000000);

      // Enciende el Led Azul y no el Led Verde
      GPIOB->BSRR = (1<<7)<<16;
      GPIOB->BSRR = (1<<6);
      espera(5000000);

      // Apaga el Led Verde y el Led Azul
      GPIOB->BSRR = (1<<7)<<16;
      GPIOB->BSRR = (1<<6)<<16;
      espera(5000000);

      /* USER CODE END WHILE */

      /* USER CODE BEGIN 3 */
   }
   /* USER CODE END 3 */
```

Ejemplo de Uso



7 – Ejercicios

Ejercicios Propuestos

1. Realice el diagrama de bloques y de flujo del ejemplo.
2. Cree el proyecto y al escribir el código comente con sus propias palabras lo que hace cada línea (a nivel funcional). Ejecútelo y depúrelo. Como ve, este ejemplo ya incluye la librería de funciones útiles que se mandó crear en el tema anterior. Aprenda a crear sus propias librerías de funciones (ficheros .c y .h), para ir incluyendo aquellas funciones que pueda tener que utilizar en futuros ejercicios y prácticas. Incluso a lo largo del curso puede plantear crear varias bibliotecas.
3. Amplíe el programa quitándole la rutina de espera que tiene para que los LEDs sólo cambien cuando esté pulsado el botón USER. Primero haga el diagrama de flujo.
   - ¿Cuantos cambios se producen por pulsación y por qué?
4. Modifique el programa para que con cada pulsación sólo se haga una modificación de los LED. Primero haga el diagrama de flujo.
   - ¿Lo consigue?
   - Si no lo consigue, piense que en el momento de la pulsación pueden ocurrir oscilaciones hasta estabilizarse (denominadas **rebotes**). ¿Se le ocurre alguna forma de eludir esos rebotes?

Ejercicios Propuestos

5. Desarrolle una aplicación que muestre en el display:
   - "PUSH" cuando el BOTÓN DE USUARIO esté pulsado
   - "FREE" cuando el botón de usuario no esté presionado.
6. Modifique la aplicación anterior para que en todo momento, con independencia del estado del botón, los leds verde y azul se enciendan y apaguen de forma alternativa (cuando uno está encendido el otro está apagado y viceversa), cambiando de estado una vez por segundo aproximadamente.
7. Desarrolle una aplicación que ante cada pulsación del BOTÓN DE USUARIO incremente en una unidad un contador, mostrando su valor en el display y haciendo que los leds de la placa se enciendan de forma alternativa según la siguiente tabla:
   5. Estado = 1: Azul OFF, Verde OFF
   6. Estado = 2: Azul OFF, Verde ON
   7. Estado = 3: Azul ON, Verde ON
   8. Estado = 4: Azul ON, Verde OFF