

ENTRADA Y SALIDA

SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

1

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





CONCEPTOS PREVIOS

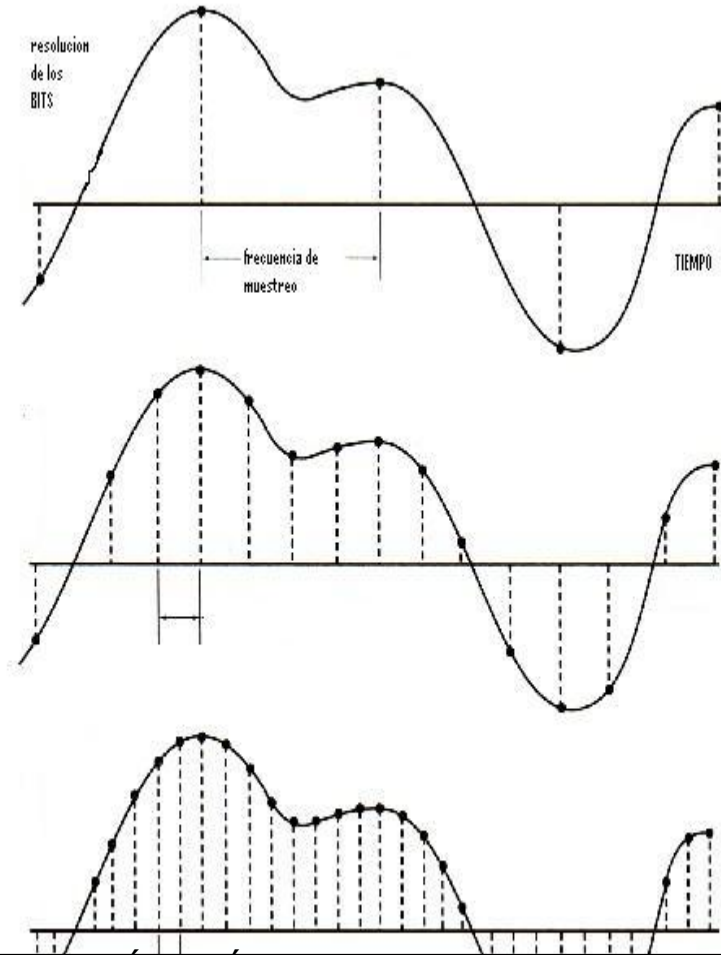
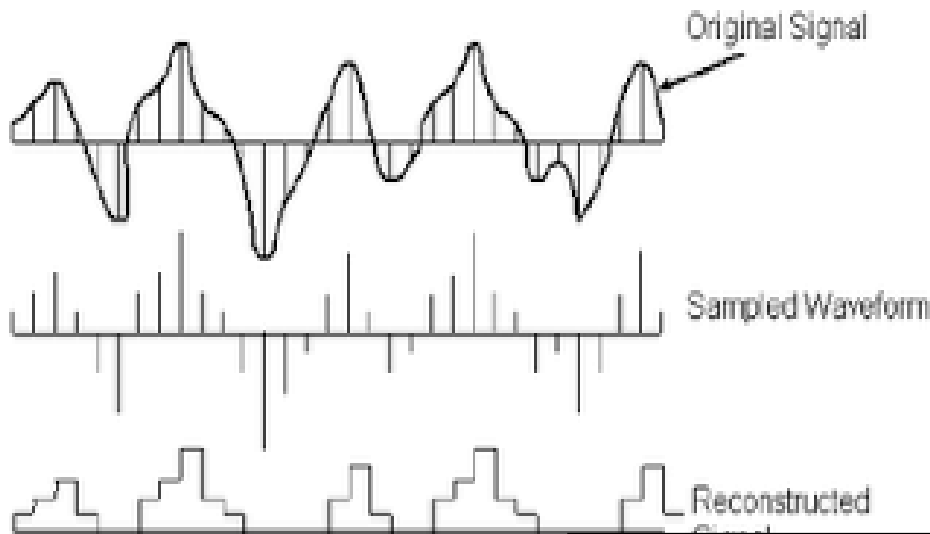
- Los conversores ADC y DAC sirven para interactuar con el mundo exterior
 - En el exterior la información es analógica
 - Se convierte a digital
 - Se procesa en digital
 - Se convierte a analógica
 - Se entrega al mundo exterior como información analógica (luz, sonido, imagen, etc.)
- El proceso de conversión analógica a digital se basa en:
 - Discretizar el eje de tiempos o espacio (muestrear)
 - Discretizar el eje de amplitud (cuantificar)
 - Codificar
- El proceso de conversión digital a analógica radica en hacer lo inverso

Conversión A/D
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

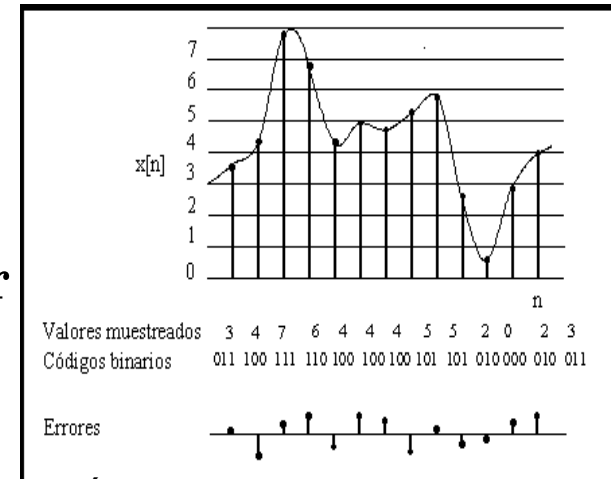
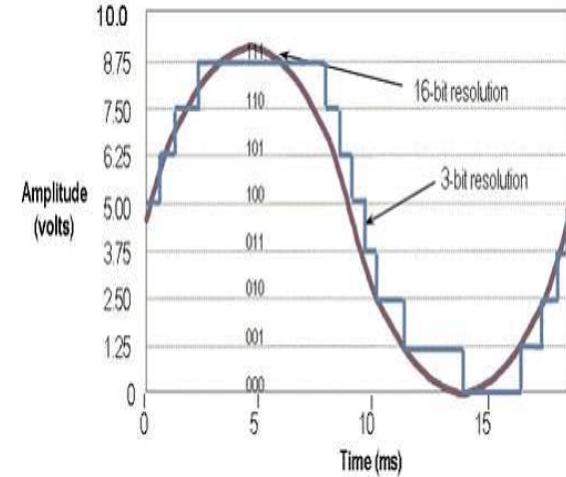
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

- **Muestreo:** Discretizo el eje de tiempos o espacio
 - Para no perder información hay que respetar el teorema de Nyquist ($f_{\text{muestreo}} > 2 \cdot f_{\text{superior}}$)



○ Cuantificación: Discretizar el eje de amplitud

- El número de niveles depende del tamaño de palabra (si la palabra es de 8 bits -> 256 niveles de amplitud, etc...)
- Los niveles pueden estar equiespaciados (escala lineal), o no (escalas logarítmicas, exponenciales, etc.) dependiendo de la aplicación
- Se introduce el ***error de cuantificación***: diferencia entre el valor real de la señal y el valor cuantificado
 - Esto hace que valores distintos de amplitud que se convierten en un mismo



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

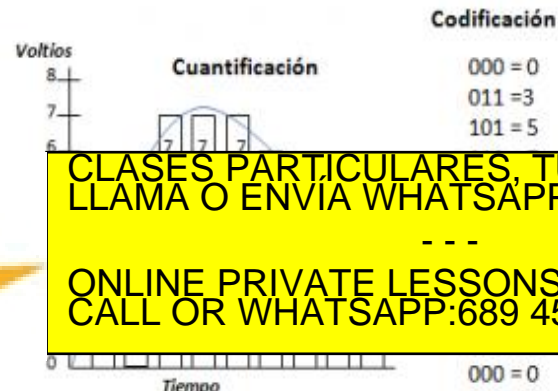
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



CONCEPTOS PREVIOS

○ Codificación:

- Se trata de la asignación de valores binarios a cada uno de los niveles de cuantificación
- Se puede realizar en varios pasos
 - Sacar el código de una muestra
 - Sacar el código de un conjunto de muestras, mediante la relación entre ellas
- Tradicionalmente un ADC codifica inicialmente en modo binario, y luego el procesador decide codificar de alguna forma más óptima (atendiendo a la aplicación)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TEMA 5: CONVERSIÓN ANALÓGICA / DIGITAL

Sistemas Digitales basados en Microprocesador

6

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





ÍNDICE

- Conversor A/D y Funcionamiento
- ADC: Registros de Control
- ADC: Registros de Datos
- ADC: Registros de Estado
- Ejemplo de Conversión Simple
- Ejemplo de Conversión Continua
- Ejercicios

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



ADC Y FUNCIONAMIENTO

- El STM32L152RB tiene un único ADC de 12 bits con entrada multiplexada entre 24 posibles fuentes externas y 2 internas.
- Sus características principales son:
 - Resolución configurable a 12, 10, 8 o 6 bits
 - Capaz de generar avisos al finalizar las conversiones
 - Modo de conversión simple o continua
 - Conversión programable para escanear varios canales de forma cíclica
 - Reloj del conversor procedente directamente del HSI (a 16MHz)
 - Posibilidad de introducir retardos entre conversiones

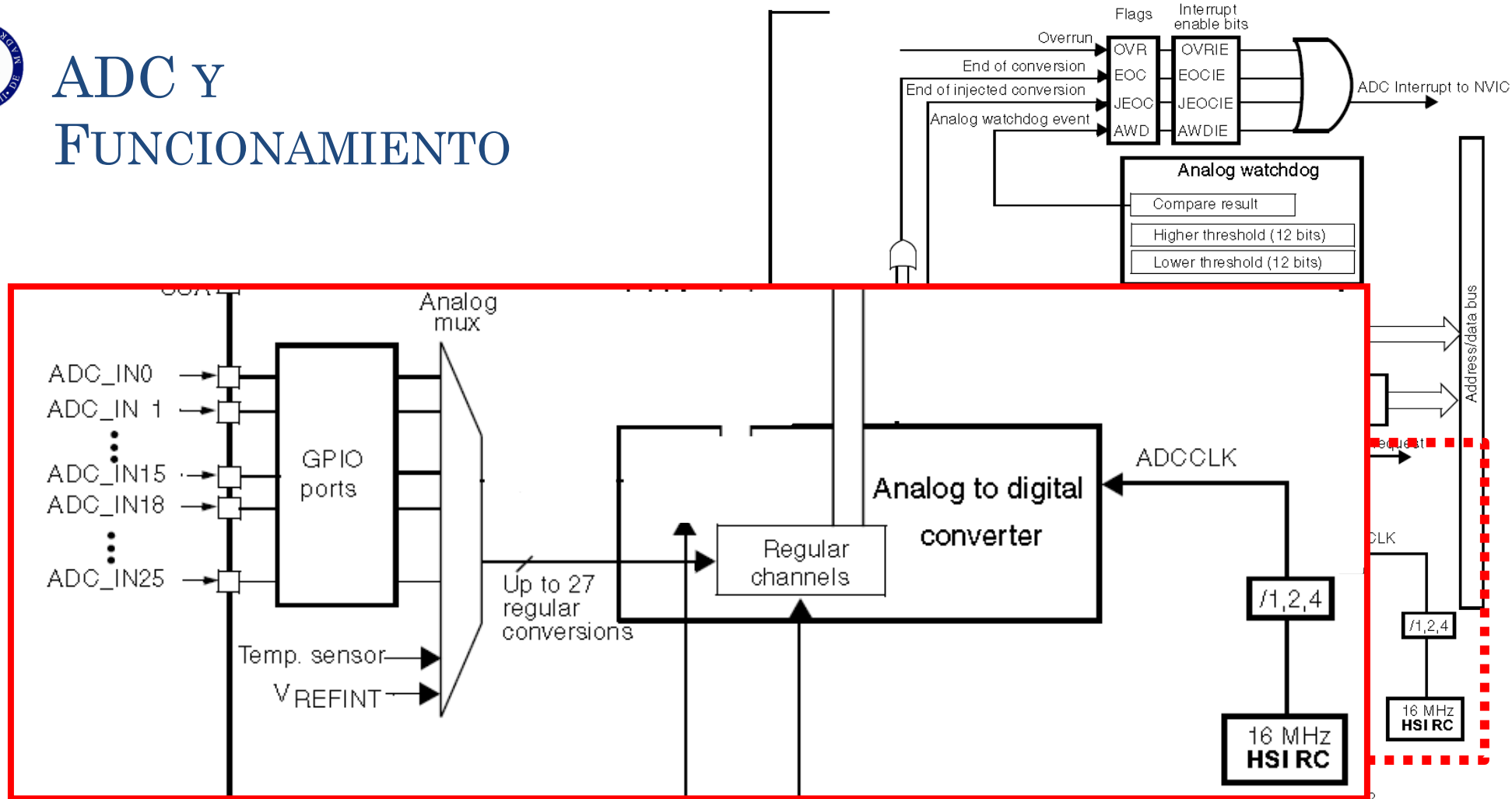
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



ADC Y FUNCIONAMIENTO



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



ADC Y FUNCIONAMIENTO

○ Conversión simple:

1. Se configura el ADC
2. Se enciende el ADC (ADON=1)
3. Se activa el SWSTART para arrancar la conversión
4. Se espera a que haya acabado la conversión (bit EOC)
5. Se toma el dato del ADC1->DR
6. Si se quiere repetir el proceso, se vuelve al punto 3

○ Conversión continua:

1. Se configura el ADC
2. Se enciende el ADC (ADON=1)
3. Se activa el SWSTART para arrancar la conversión
4. Se va consultando el valor del ADC1->DR según sea conveniente, para obtener el valor actual

○ Conversión en modo scan

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

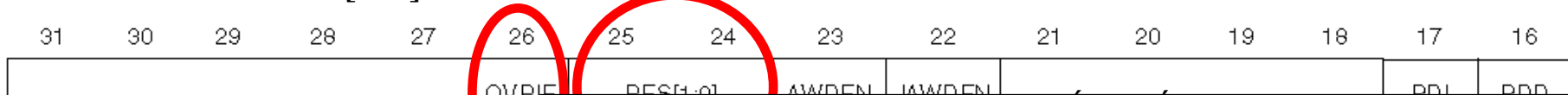
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



ADC: REGISTROS DE CONTROL

ADC → CR1 – Control Register 1:

- Registro de 32 bits con los siguientes bits de configuración, que deben escribirse sólo cuando ADON=0:
 - OVR1E**: Habilitación de interrupción por overrun. No lo usaremos.
 - RES[1:0]**: Resolución. Siempre elegiremos 12 bits.
 - 00 – 12bits; 01 – 10bits; 10 – 8bits; 11 – 6bits
 - AWDEN, JAWDEN, PDI, PDD, DISCNUM, JDISCEN, DISCEN, JAUTO, AWDSGL – todos los bits a '0'
 - SCAN**: Scan mode. Siempre lo configuraremos deshabilitado.
 - 0 – deshabilitado; 1 – habilitado
 - JEOCIE, AWDIE – todos los bits a '0'
 - EOCIE**: Habilitación de interrupción por fin de conversión. No lo usaremos
 - AWDCH[4:0] – todos los bits a '0'



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70





ADC: REGISTROS DE CONTROL

ADC → CR2 – Control Register 2:

- Registro de 32 bits, con los siguientes bits de configuración, que deben escribirse sólo cuando ADON=0 (salvo indicado en contra):
 - SWSTART** – Escribiendo un ‘1’ aquí inicia una conversión (el propio hardware lo pone a ‘0’ automáticamente)
 - Este bit sólo se puede activar con ADON=1 y RCNR=0
 - EXTEN, EXTSEL[3:0], JSWSTART, JEXTEN, JEXTSEL[3:0]** – todos a ‘0’
 - ALIGN** – Con un ‘0’ alinea el dato a la derecha del registro de 16bits, y con un ‘1’ lo alinea a la izquierda. Siempre lo pondremos a la derecha.
 - EOCS** – Selección del modo de aviso del EOC
 - Con un ‘0’ sólo se activa el EOC al finalizar una secuencia completa de conversión (modo scan). Con un ‘1’ se activa con cada conversión. Siempre lo pondremos a “1”.
 - DDS, DMA** – todos los bits a ‘0’
 - DELS** – Configuración del retardo entre conversiones:
 - 000 – Sin retardo; 001 – Hasta que se lea el dato anterior; 010 – 111 retardos de 7, 15, 31, 63, 127 y 255 ciclos de APB. Lo pondremos 000 (simple) o 001 (continua).
 - CONT** – Con un ‘0’ la conversión es simple; con un ‘1’ la conversión es continua.
 - ADON** – Con un ‘1’ enciende el ADC, con un ‘0’ lo apaga.

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Reserved

Res.

Reserved

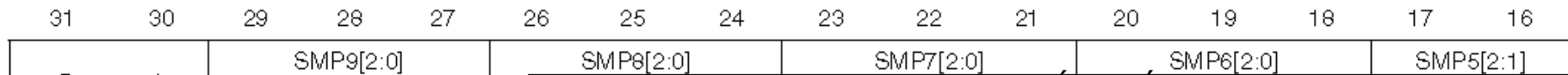
rw

rw



ADC: REGISTROS DE CONTROL

- GPIO_x → SMPR_x – Sample time register x (no lo vamos a usar)
 - Conjunto de 3 registros de 32 bits que indican la selección de tiempo de muestreo para cada uno de los 26 canales
 - SMPR1 – canales 20 a 25
 - SMPR2 – canales 10 a 19
 - SMPR3 – canales 0 a 9
 - Para cada canal, se usan 3 bits:
 - 000 – 4 ciclos; 001 – 9; 010 – 16; 011 – 24; 100 – 48; 101 – 96; 110 – 192; 111 – 384
 - Estos registros sólo se deben escribir con ADON=0



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

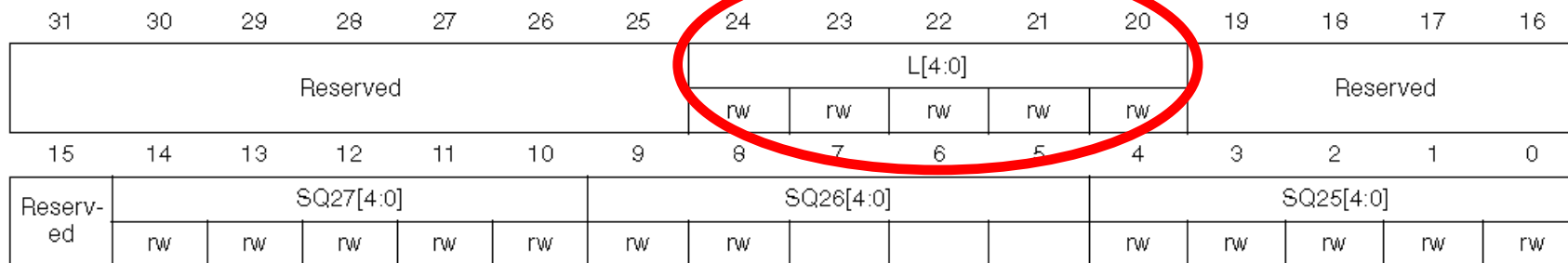


ADC: REGISTROS DE CONTROL

ADC → SQR_x – Sequence Register x:

- Conjunto de 5 registros (el 1 es distinto al resto) que configuran el número de canales a convertir y el orden de los mismos
 - Se puede repetir canal en la secuencia
 - El máximo son 27 pasos en la secuencia
- En los bits 24-20 del SQR1 hay que definir el número de elementos de la secuencia
 - 00000 – 1 elemento; 00001 – 2 elementos; ...; 11010 – 27 elementos
 - Cada secuencia se indica con su número (del 0 al 25) codificado en 5 bits
 - Si sólo se usa un elemento, hay que escribir el SQR1 = 0 y en los 5 bits más bajos del SQR5 el canal utilizado.

SQR1



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

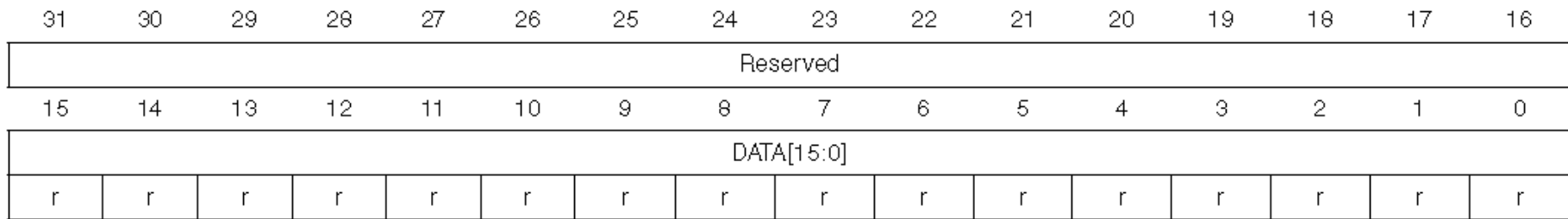
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



ADC: REGISTROS DE DATOS

ADC → DR – ADC Data Register:

- Registro de 32 bits, con solo 16 útiles (los menos significativos), donde se deposita el dato alineado a la izquierda o a la derecha, según se haya seleccionado en ALIGN



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



ADC: REGISTROS DE ESTADO

ADC → SR – Status Register

- Registro de 32 bits con sólo 10 disponibles y sólo 4 útiles para el curso:
 - RNCR** – Regular channel not ready
 - Indica con un 1 que el canal de conversión NO está disponible, por lo que no se debe activar el SWSTART. No lo usaremos.
 - ADONS** – ADC ON status
 - Indica con un 1 que el ADC está listo para convertir.
 - OVR** – Overrun
 - Indica con un 1 que no se ha leído previamente el resultado de la conversión anterior, y se ha sobrescrito su valor con el resultado de la conversión actual. No lo usaremos.
 - EOC** – End of Conversion
 - Indica con un 1 que se ha finalizado la conversión en curso y el

Cartagena99

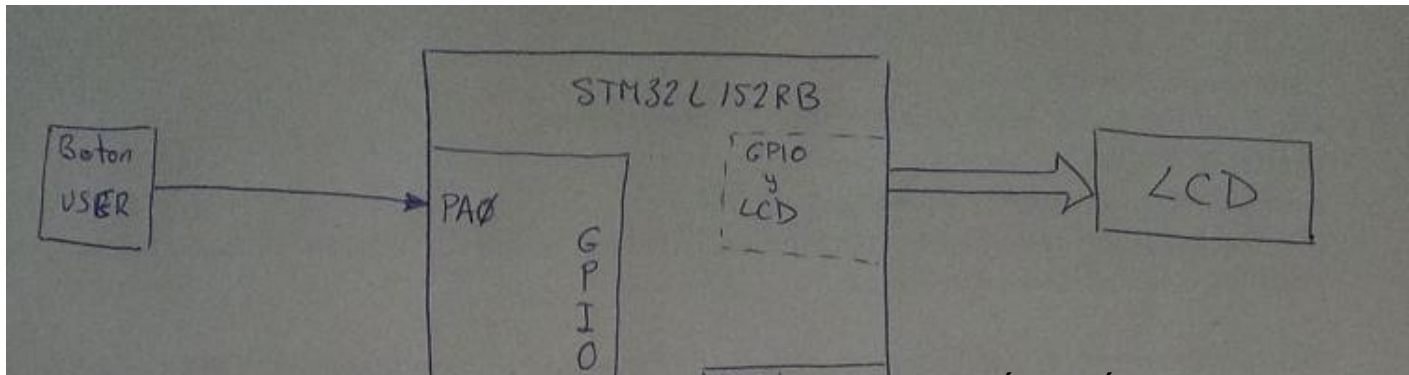
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

JONR	RCNR	Reserv	ADONS	OVR	STRT	JSTRT	JECC	EOC	AWD
							rc_w0	rc_w0	rc_w0

EJEMPLO DE USO DE CONVERSIÓN SIMPLE

- El siguiente ejemplo convierte cada vez que se pulsa el botón USER y saca el valor de conversión (de 12 bits, es decir, de 0-4096) por el LCD
- El diagrama de bloques sería:
 - Tenga en cuenta que el diagrama de bloques debe servir para hacer una representación gráfica que resuma el enunciado del problema:
 - Las flechas tienen sentido de interacción
 - Incluso aparecen los pines en los que están conectados cada uno de los dispositivos externos.
 - Están especificados los periféricos del microcontrolador a utilizar.
 - Se pueden añadir más informaciones que resuman el enunciado (por ejemplo, los 12 bits)



Cartagena99

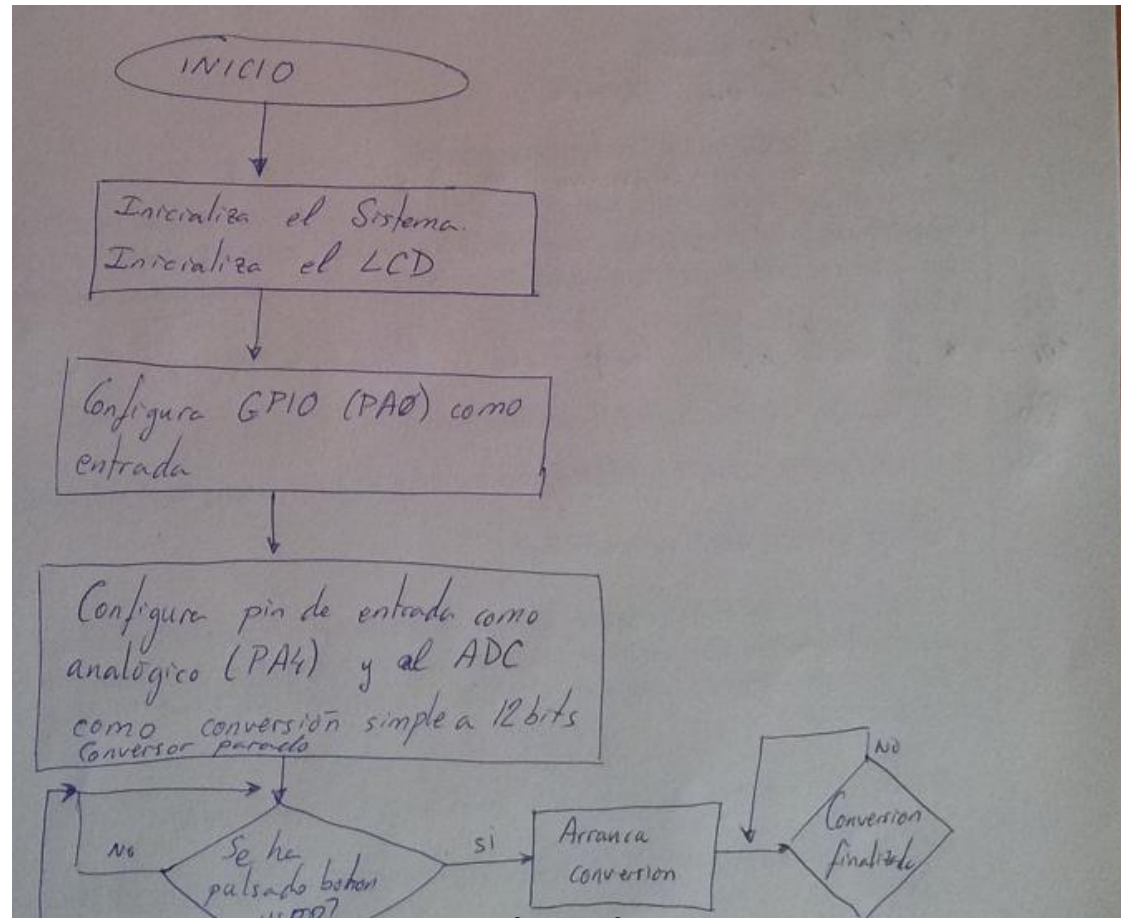
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

EJEMPLO DE USO DE CONVERSIÓN SIMPLE

Y el diagrama de flujo:

- No se hace referencia directa al microcontrolador o a datos específicos del periférico
- Se puede llegar a poner alguna información adicional (que se podría quitar sin eliminar el sentido al diagrama de flujo), como por ejemplo el pin usado.
- Las conexiones entre módulos deben estar realizados con flechas





EJEMPLO DE USO DE CONVERSIÓN SIMPLE (1)

- El siguiente ejemplo convierte cada vez que se pulsa el botón USER y saca el valor de conversión (de 12 bits, es decir, de 0-4096) por el LCD

```
#include "stm3211xx.h"
#include "Biblioteca_SDM.h"
#include "Utiles_SDM.h"

int main(void) {

    unsigned short valor = 0;
    unsigned char texto[6];
    Init_SDM();
    Init_LCD();

    // Configuración del botón USER (PA0)
    // PA0 como entrada (00)
    GPIOA->MODER &= ~(1 << (0*2 +1));
    GPIOA->MODER &= ~(1 << (0*2));

    // PA0 sin pull-up, pull-down (00)
    GPIOA->PUPDR &= ~(11 << (0*2));

    // Configuración del ADC
    GPIOA->MODER |= 0x00000300;           // PA4 como analógico
    ADC1->CR2 &= ~(0x00000001);          // ADON = 0 (ADC apagado)
    ADC1->CR1 = 0x00000000;              // OVR1E = 0 (deshabilitada la habilitación por interrupción)
                                         // RES = 00 (resolución = 12 bits)
                                         // SCAN = 0 (modo scan deshabilitado)
```



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

```
ADC1->CR1 = 0;
ADC1->CR2 = 0x00000000; // 1 elemento solo en la secuencia
ADC1->CR2 |= 0x00000001; // ADON = 1 (ADC activado)
```



EJEMPLO DE USO DE CONVERSIÓN SIMPLE (2)

- El siguiente ejemplo convierte cada vez que se pulsa el botón USER y saca el valor de conversión (de 12 bits, es decir, de 0-4096) por el LCD

```
while (1) {
    if ((GPIOA->IDR&0x00000001)!=0) // Si PA0 = 1 (pulsador pulsado)
        // hago conversión, si no termino
    {
        while ((GPIOA->IDR&0x00000001)!=0) // Si PA0 = 1 (pulsador pulsado),
            // espero para evitar rebotes
        {
            espera(70000);
        }
        // Arranca conversión
        while ((ADC1->SR&0x0040)==0); // Mientras ADONS = 0, o sea, el ADC
            // no está listo para convertir, espero
        ADC1->CR2 |= 0x40000000; // Cuando ADONS = 1 y arranco la conversión
            // (SWSTART = 1)
        // Espera a conversión finalizada
        while ((ADC1->SR&0x0002)==0); // Si EOC = 0, o sea, no he acabado
            // con la conversión, espero
        valor = ADC1->DR; // Cuando EOC = 1, cojo el valor convertido
            // y lo guardo en la variable valor
    }
}
```

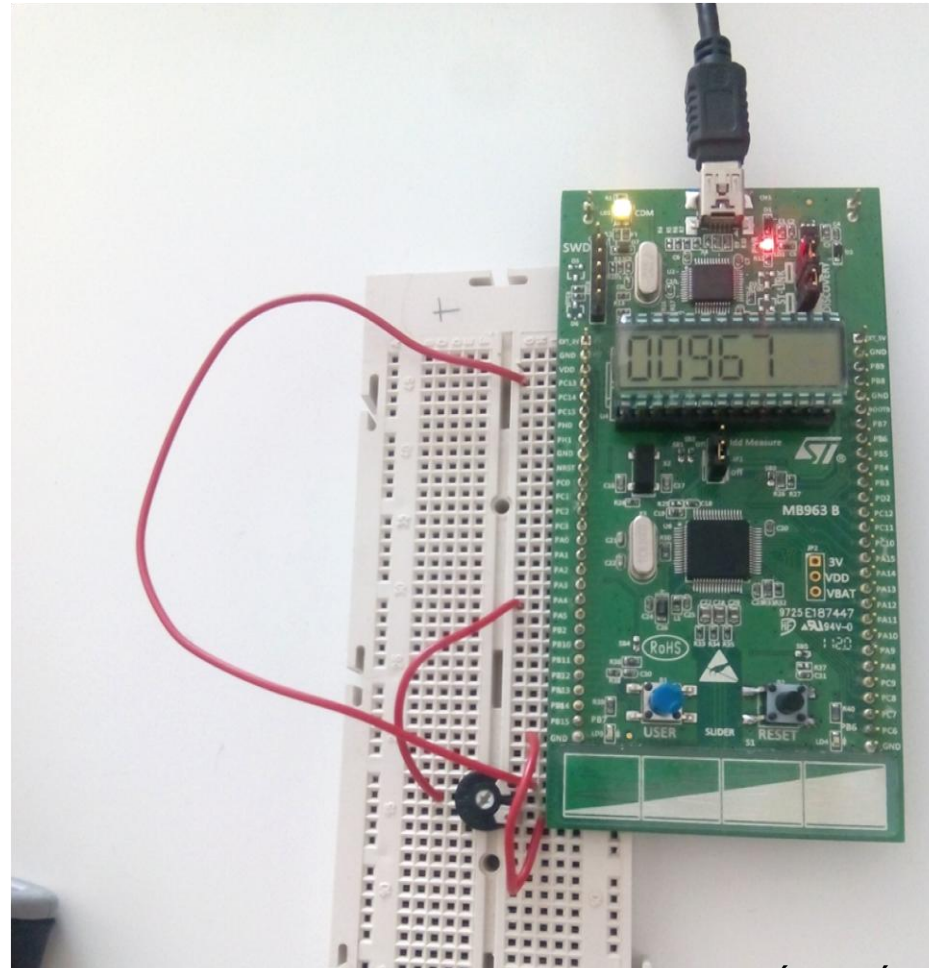
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



PRUEBA DEL EJEMPLO EXPLICADO



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



EJEMPLO DE USO DE CONVERSIÓN CONTINUA (1)

- El siguiente ejemplo convierte de forma continua y saca el valor de conversión (de 12 bits, es decir, de 0-4096) por el LCD

```
#include "stm3211xx.h"
#include "..\Biblioteca_SDM.h"
#include "..\Utiles_SDM.h"

int main(void){

    unsigned short valor = 0;
    unsigned char texto[6];
    Init_SDM();
    Init_LCD();

    // Configuración ADC
    GPIOA->MODER |= 0x00000300; // PA4 como analógico
    ADC1->CR2 &= ~(0x00000001); // ADON = 0 (ADC apagado)
    ADC1->CR1 = 0x00000000; // OVRIE = 0 (deshabilitada la habilitación por interrupción)
    // RES = 00 (resolución = 12 bits)
    // SCAN = 0 (modo scan deshabilitado)
    // EOCIE = 0 (deshabilitada la interupción por EOC)
    // OVRIE = 0 (deshabilitada la habilitación por interrupción)
    ADC1->CR2 = 0x00000412; // EOCS = 1 (activado el bit EOC al acabar cada conversión)
    // DELS = 001 (retardo de la conversión hasta que se lea el dato anterior)
    // CONT = 1 (conversión continua)
    ADC1->SMPR1 = 0; // Sin sampling time (4 cycles)
    ADC1->SMPR2 = 0;
```

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ADC1->CR2 |= 0x40000000; // Cuando ADCONS = 1, arranco la conversión. (SWSTART = 1)



EJEMPLO DE USO DE CONVERSIÓN CONTINUA (2)

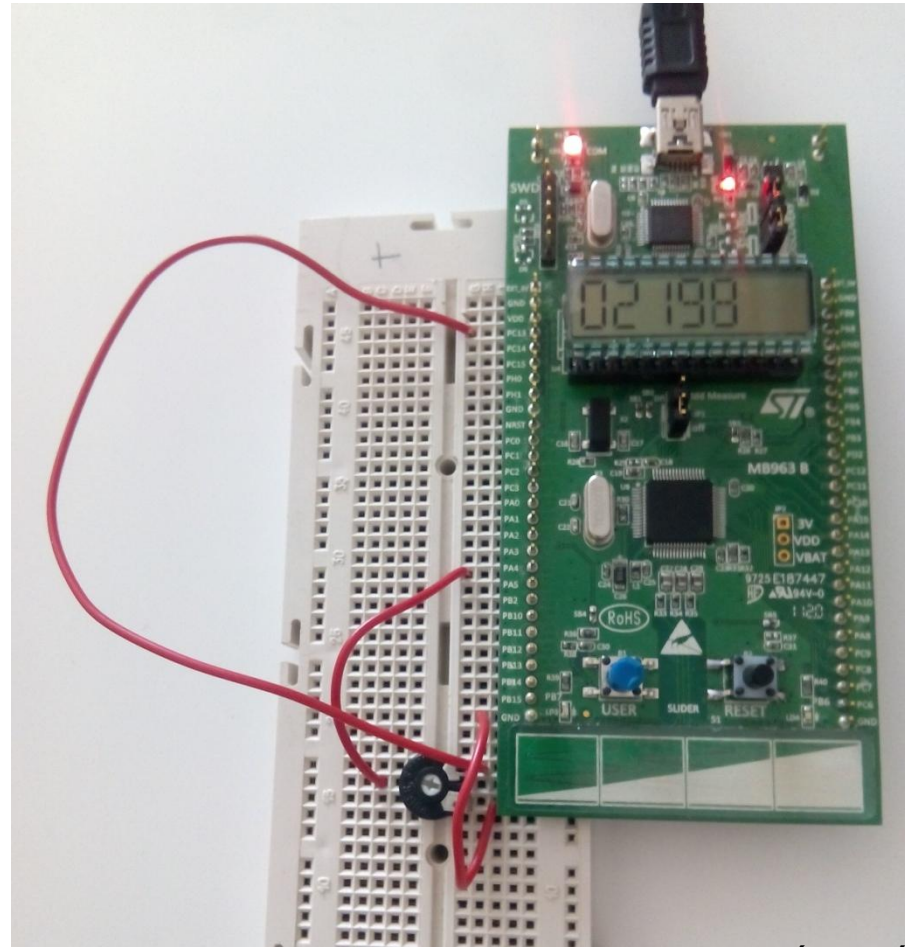
- El siguiente ejemplo convierte de forma continua y saca el valor de conversión (de 12 bits, es decir, de 0-4096) por el LCD

```
while (1) {  
    valor = ADC1->DR; // Cojo el valor convertido y lo  
                    // guardo en la variable valor  
    // Convierte conversión a texto  
    Bin2Ascii(valor, &texto[0]);  
  
    // Sacar conversión por LCD  
    LCD_Texto(texto);  
}
```

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



EJERCICIOS

- 1) Análisis de los ejemplos: Realice el diagrama de flujo del segundo ejemplo, cree un proyecto para cada uno y escriba el código fuente comentando cada línea y/o grupo funcional. Complete los ejemplos añadiendo la función que hace falta para convertir de binario a ASCII y sacar los valores por el LCD y finalmente ejecútelos y pruébelos con el depurador.
- 2) Cambie uno de los ejemplos para que convierta en 8 bits de resolución en lugar de 12.
 - ¿Qué diferencias aprecia al ejecutarlos?
- 3) Con la resolución que desee, modifique el programa, para que, en lugar de aparecer en el LCD el valor de la conversión realizada, aparezca el valor del voltaje convertido.
- 4) Haga un programa que convierta continuamente de dos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70