Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica
IE-0624 Laboratorio de Microcontroladores

EIE
Escuela de
Ingeniería Eléctrica

Arduino UNO: PID, GPIO, ADC y comunicacione

MSc. Marco Villalta Fallas - marco.villalta@ucr.ac.cr

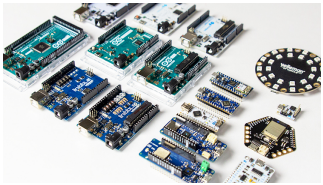
II Ciclo 2022

Arduino

Arduino

Descripción general

- Placas de HW+SW libre con microcontrolador programable
- Mayoria de microcontroladores de la misma familia (AVR)
- IDE y lenguaje(C/C++) inspirados en Processing
- Hardware inspirado en placa libre Wiring (2003)
- Nace en 2005 en el instituto Ivrea (Italia)



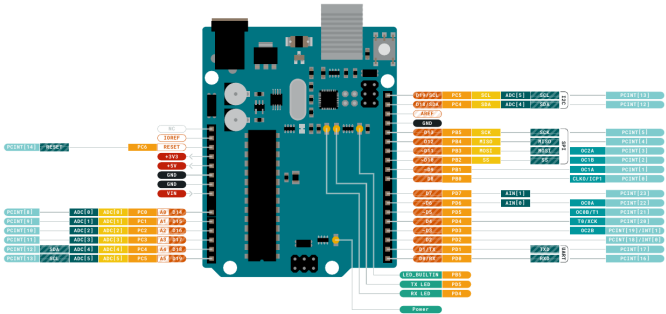
Por qué Arduino?

- Es libre y extensible
- Comunidad
- Entorno de programación multiplataforma
- Entorno y lenguaje simples
- Placas baratas, reutilizables y versátiles

Arduino UNO

Descripción general

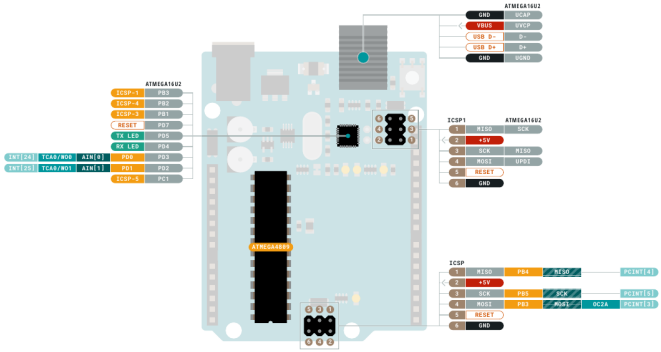
- Open source microcontroller board expandible (SMD/DIP)
- Microcontrolador ATMega328P (P:picopower)



Arduino UNO

ATMega16

- ATMega16 utilizado como un puente entre el puerto USB y puerto serial del microcontrolador principal
- Firmware se puede actualizar con DFU (no muy necesario)
- ICSP (In-Circuit Serial Programming) Puertos para programar el firmware de un uC



ATMega328P

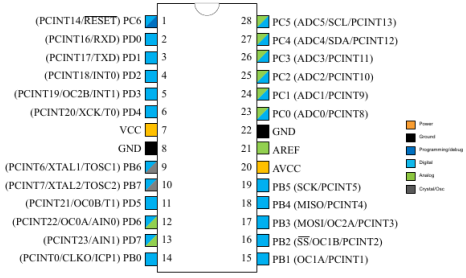
ATMega328

Descripción general

- Microcontrolador AVR de 8 bits
- Arquitectura RISC/Harvard.
- 4/8/16/64Kb Flash, 512b/1/2k bytes de SRAM y 256/512/1k bytes de EEPROM
- 23 GPIOs
- Timer/Counters de 8 y 16 bits.
- Interrupciones
- 8 canales PWM y comparador analogico
- 6 canales 10-bit ADC
- USART
- Maestro/Esclavo SPI (USARTSPI)
- TWI (2-wire), DBG, BTLDR

Pin-out

Figure 5-1. 28-pin PDIP

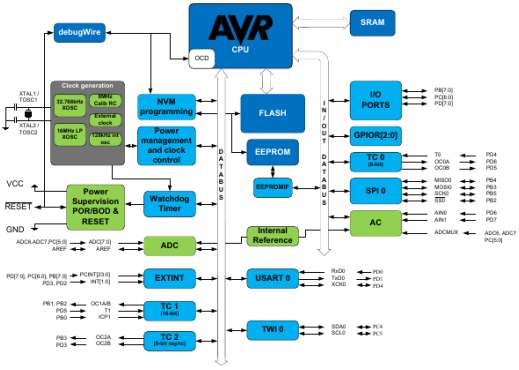


ATMega328

Arquitectura

Block Diagram

Figure 4-1. Block Diagram



Uso de perifericos

Estructura general de un sketch

Programa(sketch) que se ejecuta en un Arduino siempre se compone de tres secciones:

- Declaración de variables globales y funciones propias
- Inicialización/configuración de periféricos (**void setup()**)
- Ejecución cíclica (**void loop()**)

```
int var_global;

void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);   // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);                       // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);    // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);                       // wait for a second
}
```

E/S digitales

Características eléctricas

- Voltajes: 0 y 5V
- E/S máxima de 20mA, 100mA en total a la vez para todos los pines.
- Resistencia pull-up de 20-50 kOhm

E/S digitales

Uso de entradas y salidas

Las funciones para trabajar con entradas y salidas digitales son:

- **pinMode()**: Configura pin digital. Primer parámetro indica el pin, segundo parámetro indica E/S con INPUT o OUTPUT
- Si se usa entrada se puede activar resistencia pull-up con la constante INPUT_PULLUP en lugar de INPUT. Se recomienda este modo para evitar ruido.
- **digitalWrite()**: Pone en alto o bajo un pin digital. Pin se especifica como primer parámetro y el segundo parámetro el estado
- Si pin es entrada un HIGH con digitalWrite() habilita resistencia pull-up, con LOW se desactiva
- **digitalRead()**: devuelve valor leído del pin digital (primer parámetro)
- **pulseIn()**: pausa la ejecución del sketch y espera a recibir en pin (primer parámetro) una entrada (segundo parámetro). Devuelve en microsegundos el tiempo en volver a cambiar de estado. Mide un pulso.

E/S digitales

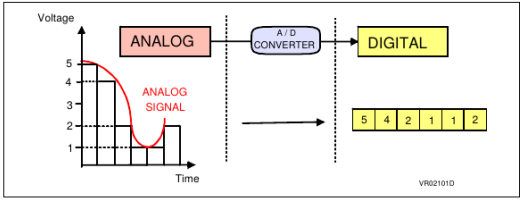
Ejemplo de lectura y escritura

```
int ledPin = 13;  // LED connected to digital pin 13
int inPin = 7;    // pushbutton connected to digital pin 7
int val = 0;      // variable to store the read value

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);  // sets the digital pin 13 as output
  pinMode(inPin, INPUT);    // sets the digital pin 7 as input
}

void loop() {
  val = digitalRead(inPin);   // read the input pin
  digitalWrite(ledPin, val);  // sets the LED to the button's value
}
```

E/S analógicas

Características eléctricas

- Voltajes: De 0 a 5V
- 6 canales de 10 bits (0-1023 pasos)
- Paso de 5mV



E/S analógicas

Funciones

- **analogWrite()**: Envía valor tipo *byte* que representa señal PWM a pin digital configurado como OUTPUT. Se escriben valores entre 0 y 255
- **analogRead()**: Devuelve valor leído del pin de entrada analógico, el valor es proporcional a la entrada analógica con respecto al voltaje de referencia a un valor entre 0 y 1023. Si se reduce voltaje de referencia se detectan cambios más pequeños.
- No es necesario usar función *pinMode()* para pines analógicos por estar configurados por defecto como entradas analógicas. También se pueden utilizar como pines digitales.
- Convertidor A/D tarda 100uS en procesar conversión y obtener valor digital.
- El Arduino duo cuenta con las funciones analogWriteResolution() y analogReadResolution()

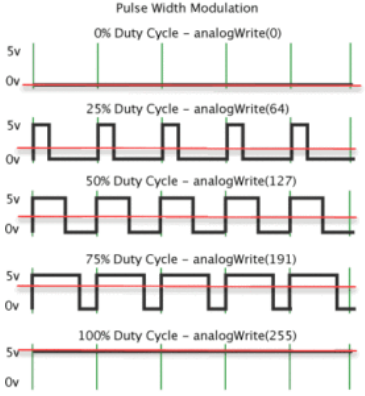
E/S analógicas

Cambio voltaje de referencia

- Reducción de voltaje de referencia permite detectar cambios más pequeños. Puede reducirse por HW y/o SW
- En HW modificar voltaje en pin AREF
- En SW utilizar **analogReference()**: Recibé un único parámetro cuyo valor puede ser:
  - DEFAULT: equivale a establecer el voltaje de referencia 3.3V o 5V
  - INTERNAL: Voltaje de referencia es 1.1V
  - EXTERNAL: Utiliza voltaje aplicado en AREF
- AREF no puede ser menor a 0V ni mayor de 5V

E/S analógicas

PWM



- Método para reducir la potencia promedio entregada por una señal electrica, controlada por la conmutación de un switch entre la fuente y la carga
- Forma de controlar dispositivos analógicos con una salida digital
- Ciclo de trabajo: propoción/porcentaje de encendido en intervalos regulares de tiempo
- $V_{medio} = DC/100 * V_{alto}$
- Usos: intensidad de leds, dirección servos, actuadores, speakers

E/S analógicas

Funciones PWM

- **analogWrite()**: Envía valor tipo *byte* que representa señal PWM a pin digital configurado como OUTPUT.
- Una llamada de analogWrite() es en una escala de 0 - 255. Ejemplo: *analogWrite(255)* requiere 100 % del DC, *analogWrite(127)* requiere 50 %
- *analogWrite()* no tiene relación con pines analógicos de entrada (A0...An), solo con pines tipo PWM

Timers y PWM

Arduino Mega

- Las funciones PWM que son controladas por hardware emplean los módulos Timer para generar la onda de salida
- En el arduino Mega:
  - Timer0 controla salidas PWM 4 y 13.
  - Timer1 controla salidas PWM 11 y 12.
  - Timer2 controla salidas PWM 9 y 10.
  - Timer3 controla salidas PWM 2, 3 y 5.
  - Timer4 controla salidas PWM 6, 7 y 8.
  - Timer5 controla salidas PWM 44, 45 y 46.
- Frecuencia de ciclo PWM: frecuencia estándar es de 490 Hz para todos los pines, excepto para el 4 y 13 cuya frecuencia es de 980 Hz
- Uso de Timer no es exclusivo para PWM

E/S analógicas

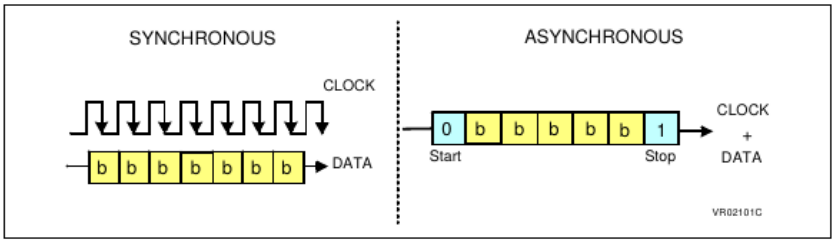
Ejemplo de lectura y escritura

```
int ledPin = 9;       // LED connected to digital pin 9
int analogPin = 3;    // potentiometer connected to analog pin 3
int val = 0;          // variable to store the read value

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);  // sets the pin as output
}

void loop() {
  val = analogRead(analogPin);  // read the input pin
  analogWrite(ledPin, val / 4); // analogRead values go from 0 to 1023, analogWrite values from 0 to 255
}
```

Comunicaciones

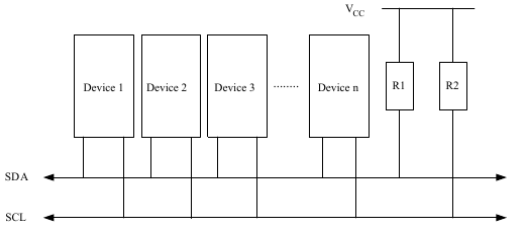
Comunicaciones con/en uC

- Mayoria de comunicaciones con MCU son en serie
- Información es transmitida bit a bit.
- Existen varios protocolos y estándares
- Diferencias de protocolos: modo de sincronización, velocidad, tamaño de paquete de datos, mensajes de conexión y desconexión, voltajes
- TWI/I2C,SPI,UART



Comunicaciones: TWI/I2C

- Interfaz de comunicación serial con 2 lineas
- SCL: Señal de reloj, SDA: Señal de datos
- Modelo Maestro - Esclavo
- Maestro incia/termina transmisión. Genera reloj
- Direccionamiento de 7 bit (128 esclavos)
- Velocidad de 100kHz(standard) y 400kHz (fast) en transmisión y recepción (Half duplex)
- Voltajes típicos: +5V,+3.3V



Comunicaciones: SPI

- Interfaz de comunicación serial con 4 lineas
- SCLK: Señal de reloj, SS: Slave Select(activo en bajo), MOSI: Master Output Slave Input (salida datos de maestro, MISO: Master Input Slave Output (salida datos de esclavo)
- Modelo Maestro - Esclavo
- Full duplex
- Sin limitación de velocidad

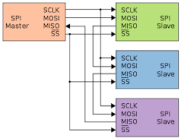


Figura: Bus SPI típico

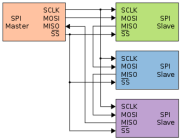
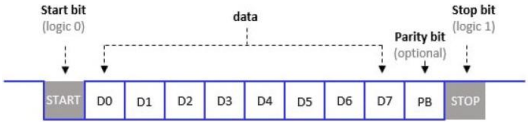


Figura: Bus SPI en daisy chain

Comunicaciones: UART/USART

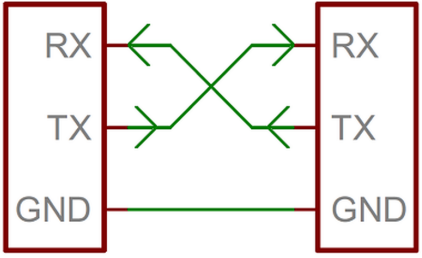
- UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (sin reloj, orientado a transmisiones de bytes)
- USART:Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter (ambos modos, más rápido)
- Estructura del data-frame:
  - Start bit: Marca inicio y siempre es bajo
  - Data: Puede ser de 5 a 9 bits
  - Stop bit: Puede ser de 1-2 bits y siempre es alto
- USART utiliza clock y permite enviar paquetes de datos mayores que una UART



Comunicaciones entre Arduino y PC

Conceptos

- Comunicaciones se establecen a una velocidad o *baud rate*, algunos valores típicos pueden ser 9600,56000,115200..etc
- Baud rate y otros parámetros deben ser igual en ambos dispositivos
- Se pueden establecer varios parámetros en la comunicación como paridad, stop bit, start bit.
- En el Arduino UNO se utilizan pines digitales 0 (RX) y 1(TX)
- Ver imágen para conexión física.



Comunicaciones entre Arduino y PC

Funciones para enviar datos

- **Serial.begin()**: Abre comunicación, va en setup(). Primer parámetro es velocida y segundo parámetro configuración
- **Serial.print()**: Envia dato de cualquier tipo (especificado como parámetro). Cada tipo de dato tiene opciones. Transmisión asincrónica. Devuelve cantidad de bytes enviados.
- **Serial.flush()**:Espera hasta transmisión sea completa volviendo al print bloqueante.
- **Serial.println()**: Hace lo mismo que print pero agrega el caracter de retorno y el de nueva línea.
- **Serial.write()**: Envia un dato (especificado como parámetro). Dato solo puede ocupar un byte. Devuelve cantidad de bytes enviados.
- **Serial.end()**: Cierra comunicación

Comunicaciones entre Arduino y PC

Funciones para recibir datos

- **Serial.available()**: devuelve número de bytes disponibles para ser leídos
- **Serial.read()**: devuelve primer byte aún no leído en buffer y lo borra del buffer
- **Serial.peek()**: devuelve primer byte aún no leído en buffer y **NO** lo borra del buffer
- **Serial.find()**: lee datos del buffer hasta encontrar cadena de caracteres especificado como parámetro
- **Serial.readBytes()**: Lee del buffer cantidad de bytes especificada como segundo parámetro
- Otras funciones: Serial.findUntil(), Serial.readBytesUntil(), Serial.setTimeout(), Serial.parseFloat(), Serial.parseInt()

Comunicaciones entre Arduino y PC

Software Serial

- En caso de necesitar más de un puerto serial se puede utilizar la biblioteca SoftwareSerial
- Utiliza 2 pines digitales

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX

void setup()
{
  Serial.begin(115200);   // Open serial communications and wait for port to open:
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for Native USB only
  }

  Serial.println("Goodnight moon!");
  // set the data rate for the SoftwareSerial port
  mySerial.begin(38400);
  mySerial.println("Hello, world?");
}

void loop() // run over and over
{
  if (mySerial.available())
    Serial.write(mySerial.read());
  if (Serial.available())
    mySerial.write(Serial.read());
}
```

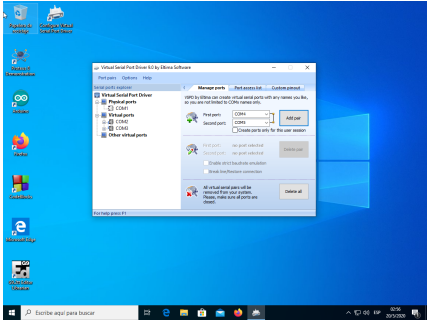
Hola Arduino USART

```
void setup() {
  Serial.begin(115200,SERIAL_8N1);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB
  }
}

void loop() {
  Serial.write(45); // send a byte with the value 45

  int bytesSent = Serial.write("hello");  //send the string "hello" and return the length of the string.

  // send data only when you receive data:
  if (Serial.available() > 0) {
    // read the incoming byte:
    incomingByte = Serial.read();

    // say what you got:
    Serial.print("I received: ");
    Serial.println(incomingByte, DEC);
  }
}
```

Comunicación entre PC y Simulide

- Es posible conectar un puerto serial dentro de Simulide con el mundo externo
- Es necesario simular un puerto serial de entrada y un puerto serial de salida
- Windows: Utilizar com2com / Virtual serial port / vspd
- Linux: Utilizar socat

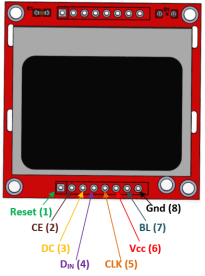
```
socat -d -d pty,raw,echo=0 pty,raw,echo=0
socat PTY,link=/tmp/ttyS0,raw,echo=0 PTY,link=/tmp/ttyS1,raw,echo
```



Pantalla PCD8544

Pinout

- RST: Reset Pin
- SCE: chip select Pin
- D/C: Selector de operación en modo (LOW) /comando (HIGH)
- DN (Data Pin): Serial Data In
- SCLK: Serial Clock
- VCC: Alimentación de 2.7 a 3.3V
- LED/BL: Backlight LED. Voltaje de 3.3V
- GND: Ground



Hola PCD8544

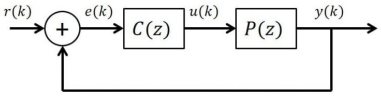
Utilizando biblioteca PCD8544

https://github.com/carlosefr/pcd8544/archive/master.zip

```
#include <PCD8544.h>

void setup() {
  lcd.begin();  // default resolution is 84x48
}


void loop() {
  lcd.clear();
  // Write some text on the first line...
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Hello, World!");

  // Write the counter on the second line...
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(counter);

  delay(200);
  counter++;
}
```

PID

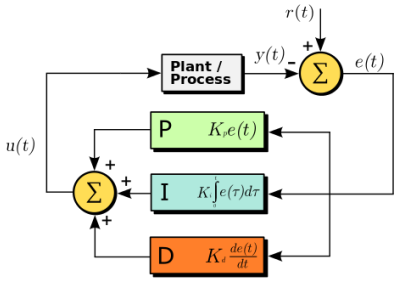
PID?



- Un PID es uno de los controles mas utilizados
- Diseñado para llevar una variable física a un punto de operación (set point)
- Compuesto por partes: Proporcional, Integral y Derivativa
- En diagrama de bloque r(k) es el set point, e(k) el error, C(z) es el controlador PID discreto, u(k) la señal de control, P(z) la planta, y(k) la salida a controlar.
- Parámetros: ganancia proporcional k_p, tiempo integral t_i y tiempo derivativo t_d.

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{t_i} \int_0^t e(t)dt + k_p t_d \frac{de(t)}{dt}$$

Implementación en MCU



- Para realizar un PID con un MCU se debe hacer un PID discreto.
- Término integral se aproxima mediante la sumatoria trapezoidal.
- Término derivativo se aproxima mediante la diferencia de dos puntos.
- Término proporcional se mantiene como la multiplicación del error y la ganancia proporcional.

Ejemplo PID en C

```
main(){

        while(1){
                //Leer entrada
                posicion_actual = leer_posicion();

                //Calcular el error
                error = set_point - posicion_actual;

                //Calcular la integral
                integral = integral + error;

                //Calcular la derivada
                derivada = error - ultimo_error;

                //Cauclar variable de control
                var_control = (kp * error) + (ki * integral) + (kd * derivada);

                //Acotar variable de control
                if(var_control > 255)
                        var_control = 255;
                else if(var_control < 0)
                        var_control = 0;

                ultimo_error = error;
        }

}
```

Ejemplo PID en Arduino

Para Arduino se recomienda utilizar la biblioteca PID.

```
#include <PID_v1.h>

//Definir variables
double Setpoint, Input, Output;
//Definir los parametros
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint,2,5,1, DIRECT);

void setup()
{
  //Inicializar variables
  Input = analogRead(0);
  Setpoint = 100;

  //Habilitar PID
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop()
{
  Input = analogRead(0);
  myPID.Compute();
  analogWrite(3,Output);
}
```

Recomendaciones para el laboratorio

- Leer con calma la documentación de Arduino
- Revisar ejemplos incluidos en el Arduino IDE
- Ir paso por paso
- Preguntar