

Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Eléctrica

IE-0624: Laboratorio de Microcontroladores

## Laboratorio 3

Gokeh Ávila Blanco, B50747  
Marlon Lazo Coronado, B43717

Profesor: MSc. Marco Villalta Fallas

26 de mayo de 2022

---

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Nota teórica</b>	<b>2</b>
2.1. Arduino 1 Características . . . . .	2
2.2. Características del Microcontrolador . . . . .	3
2.3. Librerías y componentes que se utilizaron . . . . .	4
2.3.1. Socat . . . . .	4
2.3.2. DHT . . . . .	4
2.3.3. LCD PCD8544-4988 . . . . .	4
2.3.4. Adafruit PCD8544 . . . . .	4
2.3.5. CSV . . . . .	4
2.3.6. PySerial . . . . .	4
2.4. Protocolo SPI . . . . .	4
2.5. Comunicaciones USART . . . . .	5
2.6. Sensor DHT11 . . . . .	6
2.7. Amplificador operacional OPA564 . . . . .	6
<b>3. Lista de componentes y precios</b>	<b>6</b>
<b>4. Diagrama de flujo</b>	<b>7</b>
<b>5. Desarrollo/Análisis de resultados</b>	<b>7</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>9</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>10</b>
7.1. Datasheet PIC2F675 . . . . .	10
7.2. Datasheet ATmega328 . . . . .	13
7.3. Datasheet PCD8544 . . . . .	16
7.4. Datasheet Termistor . . . . .	19
7.5. Datasheet DHT11 . . . . .	22
7.6. Datasheet OPA564 . . . . .	25

# Índice de figuras

1. Placa del Arduino UNO. . . . .	2
2. Entradas y salidas del ATmega328 28-pin PDIP .[1] . . . . .	3
3. Diagrama de bloques de transmisión simplificado.[2] . . . . .	5
4. Diagrama de bloques de recepción simplificado.[2] . . . . .	5
5. Diagrama de flujo . . . . .	7
6. Comprobación de funcionamiento en los rangos de temperatura óptimos, en este caso 36°C. . . . .	8
7. Comprobación de funcionamiento sobre 42°C, se enciende el LED de alarma rojo. . . . .	9
8. Comprobación de funcionamiento por debajo 30°C, se enciende el LED de alarma azul. . . . .	9

## 1. Introducción

En este laboratorio 3 del curso laboratorio de Microcontroladores se utilizó el microcontrolador Arduino UNO para desarrollar el diseño de una incubadora automática, dicho sistema sensa una temperatura la cual tiene un rango de operación que va de los 30 grados Celsius a los 42 grados Celsius. El sistema cuenta con una pantalla LCD modelo PCD8544 donde se pueden visualizar los datos para temperatura y humedad. Por otro lado el sistema cuenta con una función para guardar un registro de los datos que se van midiendo y como van variando en un archivo tipo .csv, este programa se desarrollo con Python.

## 2. Nota teórica

### 2.1. Arduino 1 Características

Arduino uno es básicamente una placa que contiene integrado un conjunto de elementos para conformar un ambiente en el que se pueda utilizar el microcontrolador ATmega328P, por eso está listo para conectarlo a la computadora y cargarle un firmware que se escribe en lenguaje Arduino (muy parecido a C) y para el cual se puede utilizar el ambiente de desarrollo de la placa, contienen 14 pines I/O entre las cuales hay 6 PWM y 6 analógicas, Conexión ICSP y Alimentación mediante el puerto USB ó con un transformador AC-DC.[3]



Figura 1: Placa del Arduino UNO.

Microcontrolador	ATmega328P
Tencuón de operación	5V
Voltaje de alimentación (Recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (Límite)	6-20V
pinos de I/O digitales	14 (6 PWM)
Pines I/O digitales PWM	6
Pines de entrada y salida analógicos	6
Corriente CC por pin de I/O	20mA
Corriente CC para la clavija 3,3 V	50mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P)
SRAM	2KB (ATmega328P)
EEPROM	1KB (ATmega328P)
Frecuencia de reloj	16 MHz
Led _Costruido	13
Laego	68,6 mm
Aancho	53,4mm
Peso	25g

## 2.2. Características del Microcontrolador

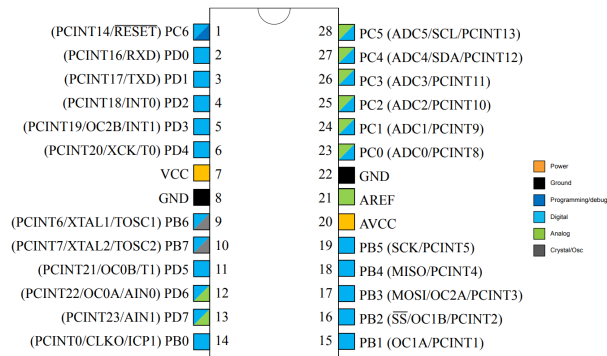


Figura 2: Entradas y salidas del ATmega328 28-pin PDIP .[1]

### Arquitectura RISC avanzada

- 131 poderosas instrucciones
- La mayoría de la ejecución de un solo ciclo de reloj
- Registros de trabajo de uso general de 32 x 8
- Operación totalmente estática
- Rendimiento de hasta 20 MIPS a 20 MHz
- Multiplicador de 2 ciclos en chip

### Segmentos de memoria no volátil de alta resistencia

- 32 KBytes de programa flash autoprogramable en el sistema Memoria
- EEPROM de 1KBytes
- SRAM interna de 2 KBytes
- Ciclos de escritura/borrado: 10 000 Flash/100 000 EEPROM
- Retención de datos: 20 años a 85 °C/100 años a 25 °C(1)
- Sección de código de arranque opcional con bits de bloqueo independientes

### I/O y paquetes

- líneas de E/S programables
- PDIP de 28 pines, TQFP de 32 derivaciones, QFN/MLF de 28 terminales y QFN/MLF de 32 terminales

### Tensión de funcionamiento:

- 1.8 - 5.5V

### Rango de temperatura:

- -40°C a 105°C

### Grado de velocidad:

- 0 - 4 MHz a 1,8 - 5,5 V
- 0 - 10 MHz a 2,7 - 5,5 V
- 0 - 20 MHz a 4,5 - 5,5 V

### Consumo de energía a 1 MHz, 1,8 V, 25 °C

- Modo Activo: 0.2mA
- Modo de apagado: 0,1 A
- Modo de ahorro de energía: 0,75 A (incluyendo RTC de 32 kHz)[1]

---

## 2.3. Librerías y componentes que se utilizaron

### 2.3.1. Socat

La utilidad socat es para transferencia de datos bidireccionales entre dos canales de datos independientes. Hay muchos tipos diferentes de canales que socat puede conectar, incluyendo: Archivos, pipes, dispositivos (línea serie, pseudoterminal, etc.), sockets (UNIX, IP4, IP6 - raw, UDP, TCP), sockets SSL, conexiones proxy CONNECT, descriptores de archivos (stdin, etc.), el editor de GNU (readline), programas y combinaciones de dos de ellos. Esta herramienta se considera la versión avanzada de netcat. Hacen cosas similares, pero socat tiene más funcionalidades adicionales, como permitir que varios clientes escuchen en un puerto, o reutilizar conexiones. [4]

### 2.3.2. DHT

Respecto al sensor de humedad, el simulador no cuenta con el sensor de humedad DHT, por lo que en vez de usar este sensor se usó una fuente de voltaje en su lugar. El sensor de humedad DHT tiene la librería DHT, esta librería es la que permite la comunicación con los sensores DHT11 y DHT22, para efecto de nuestro proyecto se decidió utilizar el sensor DHT11, sensores de humedad/temperatura muy útiles para proyectos con Arduino. [5] Sin embargo ya antes se mencionó que el simulador que se está usando en el curso no cuenta con este componente.

### 2.3.3. LCD PCD8544-4988

Uno de los componentes utilizados es la pantalla LCD PCD8544, la cual se utiliza para poder visualizar en una pantalla alguna información del circuito con el que se está trabajando. Estas pantallas son populares por su bajo uso, como por ejemplo en los antiguos celulares de la marca Nokia. Hablando ya más de la conexión de la pantalla tenemos que el pin CS se conecta a tierra y el pin RST se conecta al reset del Arduino, el primero de ellos sirve para hacer actualizaciones en la pantalla y el segundo para aplicar la señal de reset, después también se tiene el pin DIN y el D/C, donde el pin de DIN es la entrada de datos seriales y el D/C es el selector de modos. [6]

### 2.3.4. Adafruit PCD8544

Tenemos que básicamente esta librería es una librería de control de pantallas LCD PCD8544. [7] Para efectos de este proyecto se utilizó para conectar el Arduino UNO con la pantalla LCD PCD8544 usando el GPIO.

### 2.3.5. CSV

Un archivo CSV (valores separados por comas) permite guardar los datos en una estructura tabular con una extensión .csv. Los archivos CSV se han utilizado mucho en las aplicaciones de comercio electrónico porque se consideran muy fáciles de procesar. Algunas de las áreas en las que se han utilizado son: importación y exportación de datos de clientes, importación y exportación de productos, exportación de pedidos, exportación de informes analíticos de comercio electrónico, y como se mencionó anteriormente en este caso lo estamos utilizando para crear un archivo .CSV en donde podamos exportar datos de la humedad y temperatura de la incubadora automática a un archivo de este tipo. [8]

### 2.3.6. PySerial

Básicamente la librería PySerial sirve para leer los datos de un puerto serial usando Python. En nuestro caso lo utilizamos para leer los datos enviados del Arduino UNO por medio del puerto serial y escribirlos en el archivo .CSV que se mencionó arriba. [9]

## 2.4. Protocolo SPI

La transmisión de información entre dispositivos maestro y esclavo se realiza de forma sincrónica a través de una señal de reloj, con cada pulso. La información que se envía consiste en una cadena de bits, en este caso, el Maestro envía bit por bit de información. Para comenzar la transmisión, el Maestro baja la señal del Selector a cero, lo que hace que el esclavo se active y se comienza el trasiego con un pulso de reloj al mismo tiempo que el primer bit es leído. También, el Maestro configura la señal de reloj usando una frecuencia que sea permitida por el esclavo. La intercomunicación que ocurre entre ambos es duplex: el Maestro envía un bit en la línea MOSI y el esclavo lo lee, mientras que el esclavo envía un bit en la línea MISO y el Maestro lo lee. [10]

#### Señales que conforman la interfaz

- SCK: es el reloj de sincronización. Con cada pulso se lee o se envía un bit. También llamado TAKT (en alemán).

- MOSI: corresponde a la salida del maestro y entrada del esclavo. También llamada SIMO.
- MISO: es la señal que sale del esclavo hacia el maestro. También conocida por SOMI.
- SC: sirve para seleccionar un esclavo, también para que el master active un esclavo. También llamada SSTE.

El reloj puede estar programado de manera que la transmisión del bit se realice en 4 modos diferentes, lo que se conoce como polaridad y fase de la transmisión:[11]

- 1. Con el flanco de subida sin retraso.
- 2. Con el flanco de subida con retraso.
- 3. Con el flanco de bajada sin retraso.
- 4. Con el flanco de bajada con retraso.

## 2.5. Comunicaciones USART

USART del acrónimo (Universal Synchronous Asynchronous Receiver TransmitterSe), se le conoce también como interfaz de comunicaciones en serie, funciona mediante operación dúplex, lo que quiere decir que mediante dos pines puede enviar y recibir información al mismo tiempo. Además, puede operar en modo síncrono o asíncrono, por lo que los datos pueden estar o no acompañados de una señal de reloj. El transmisor y el receptor se pueden habilitar de forma independiente, si el puerto serial es habilitado, el USART controla ambos pines, y si alguno se utiliza para enviar o recibir datos, el otro no se puede utilizar como I/O de propósito general.[2]

- Puede recibir y transmitir.
- Funcionamiento asíncrono dúplex completo.
- comunicaciones RS-232 a un puerto serie de PC.
- Temperatura entre 0 y 50 °C. Margen error 2 %.
- necesita controlador para cambios de nivel

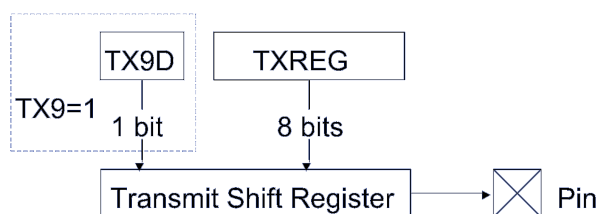


Figura 3: Diagrama de bloques de transmisión simplificado.[2]

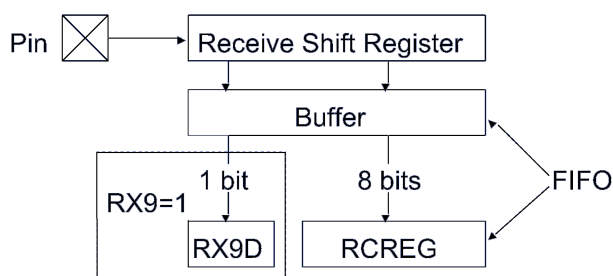


Figura 4: Diagrama de bloques de recepción simplificado.[2]

## 2.6. Sensor DHT11

El DHT11, un sensor de temperatura y humedad, que ha sido considerado como uno de los más económicos del mercado. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que no es excesivamente preciso ya que brinda datos como (%5 en humedad y 2 % en temperatura) ni tolerante, a comparación de su hermano DHT22. Por otra parte, una de su desventaja es la velocidad de las lecturas y el tiempo que hay que esperar para tomar nuevas lecturas (nueva lectura después de 2 segundos), aunque, lo anterior no tiene mayor relevancia puesto que la Temperatura Humedad son variables que no cambian muy rápido en el tiempo.[12] Las características principales del DHT11 son :

- Esta calibrado desde fabrica.
- Tensión 3.5v-5.5v DC
- Humedad Relativa entre 20 %-95 %. Margen error 5 %.
- Temperatura entre 0 y 50 °C. Margen error 2 %.
- Resolución de temperatura y humedad en rangos de 1 (no proporciona decimales)

## 2.7. Amplificador operacional OPA564

Este amplificador se caracteriza por un bajo costo, alta corriente de salida e ideal para para cargas que consumen alrededor de 1.5A, rango de voltaje de salida entre 7V a 27V, puede operar a una frecuencia de 1.4MHz. Tiene una excelente linealidad y un alto ancho de banda, brinda confiabilidad para aplicaciones de control, alta resistencia contra sobre voltajes y cambios de temperatura.

- Corriente de salida: 1.5A
- Suministro de voltaje: +7V a +24V
- Rango de voltajes de salida:  $\pm 3.5V$  a  $\pm 12V$
- Amplitud de salida: 20VPP a 1.5A

## 3. Lista de componentes y precios

Componente	Cantidad	Precio (C)
Arduino UNO	1	6013
Pantalla LCD PCD8544-4988	1	3367
DHT11	1	2535
Amplificador operacional OPA564	1	5874
Capacitor $1\mu F$	1	168
Capacitor $2.2\mu F$	1	269
Resistencia $140\Omega$	1	336
Resistencia $180\Omega$	4	75.56
Resistencia $1k\Omega$	1	134
Resistencia $10k\Omega$	1	336
Resistencia $100k\Omega$	2	471.41
LED rojo	1	673
LED azul	1	673
Switch de un polo	1	190.01
Termistor de $100k\Omega$	1	336.72
Resistencia variable de $1k\Omega$	1	349
Resistencia calentamiento	1	8000

## 4. Diagrama de flujo

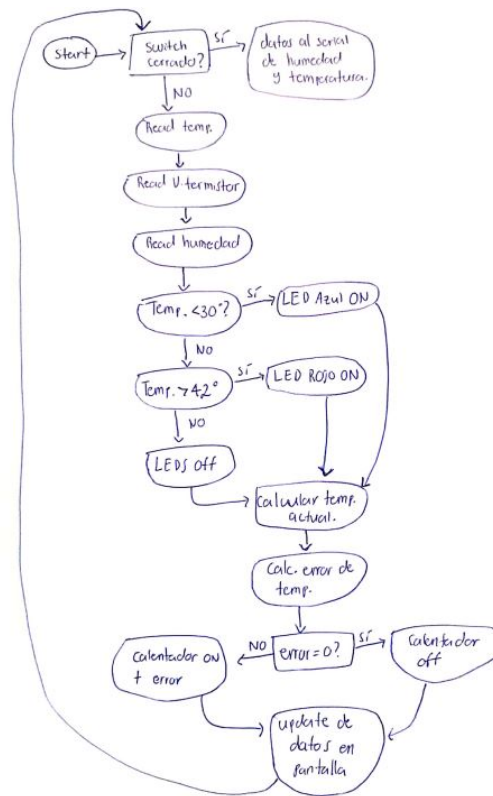


Figura 5: Diagrama de flujo

## 5. Desarrollo/Análisis de resultados

Para realizar el presente laboratorio se utilizaron diversos programas, para armar y probar el circuito y ver los resultados como si fuera el Arduino UNO físico, se utilizó el simulador Simulide, para el código del archivo .csv se utilizó Python y para el .hex que se le tenía que cargar al Arduino se utilizó el IDE de Arduino. Respecto a algunos componentes que se utilizaron y su funcionalidad tenemos que se utilizó un sensor de humedad, el cual tenía que poder medir la humedad relativa, para lo cual, como se mencionó antes se eligió usar el sensor DHT11, el cual puede medir entre 20 por ciento y 90 por ciento de humedad. Luego para lo que es visualización de datos, se usa la pantalla LCD PCD8544, la cual ocupa una alimentación de 3,3V. Esta pantalla es requisito de diseño pero también es la mejor opción cuando se trabaja con Arduino por su fácil uso y gran cantidad de recursos que tiene para consultar.

Otros componentes que se tomaron en cuenta para el diseño fue un termistor y dos LEDs que sirven de alarma para alertar de la temperatura, en el caso del termistor es uno de 100kΩ, este termistor sirve como un sensor de temperatura y se hizo en una configuración con un divisor de tensión con una resistencia. Y respecto a los LEDs se usaron 2 LEDs, uno rojo y uno azul, estos LEDs se conectan en serie con una resistencia de 180Ω cada uno, la función de dichas resistencias es para disminuir la corriente que pasa a través de cada LED, son resistencias de protección, entonces como la tensión de umbral de los LEDs es de aproximadamente 2V, aquí se puede usar la ley de ohm para calcular la corriente máxima en cada LED, por lo que:

$$I = \frac{V}{R} = 16mA$$

Por otro lado tenemos que la tensión de entrada del Arduino oscila entre los 0V y 5V en modulación de ancho de pulso, dicha señal pasa por el filtro RC pasa bajo para obtener una señal DC estable. Como la frecuencia que se busca para esta salida tiene que ser muy cercana a cero, entonces se usó una capacitancia de 1μF y una resistencia de 100kΩ, y usando la fórmula para frecuencia de corte se tiene que:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



$$f_c = 1,59Hz$$

Luego, como la corriente que sale del pin del Arduino está muy por debajo de límite eléctrico que define el fabricante, ronda el orden de los pA, entonces se modela el amplificador operacional como un fuente de tensión controlada por tensión y se alimenta con una fuente de 12V. La tensión en la salida está dada por:

$$V_{out} = \left( \frac{1 + 140\Omega}{100\Omega} \right) V_{in}$$

$$V_{out} = 2,4V_{in}$$

Entonces el amplificador operacional tiene en la salida de tensión que oscila entre los 0V a los 12V de manera lineal con la variación de 0V a 5V que vienen del lado del Arduino. Considerar que la frecuencia calculada anteriormente es lo suficientemente baja para funcionar como una entrada estable para el amplificador operacional. Luego, usando la definición de potencia y considerando que la resistencia del calentador opera como máximo a 12V y 5W se tiene que:

$$P = V * I$$

$$5W = 12V * I$$

$$I = 0,42A$$

Ahora se usa la ley de ohm para calcular la resistencia equivalente para el calentador:

$$V = I * R$$

$$12V = 0,42A * R$$

$$R = 28,8\Omega$$

La generación de calor de la resistencia es tratada como si fuera lineal porque el consumo de potencia es proporcional a la generación de calor. Tener presente que la resistencia opera de 0 grados a 80 grados celsius y que el consumo de potencia es proporcional a la generación de calor, estos hechos son importantes para el control de la temperatura.

Por último se adjuntan 3 imagenes para comprobar el funcionamiento del laboratorio, donde se puede ver como en caso de que la temperatura está entre el rango admitido, entre 30 y 42 grados celsius, los dos LEDs, el rojo y el azul están apagados, cuando la temperatura es menor a 30 grados celsius entonces se enciende el LED de alarma azul, y cuando la temperatura supera los 42 grados celsius, entonces se activa el LED de alarma de color rojo.

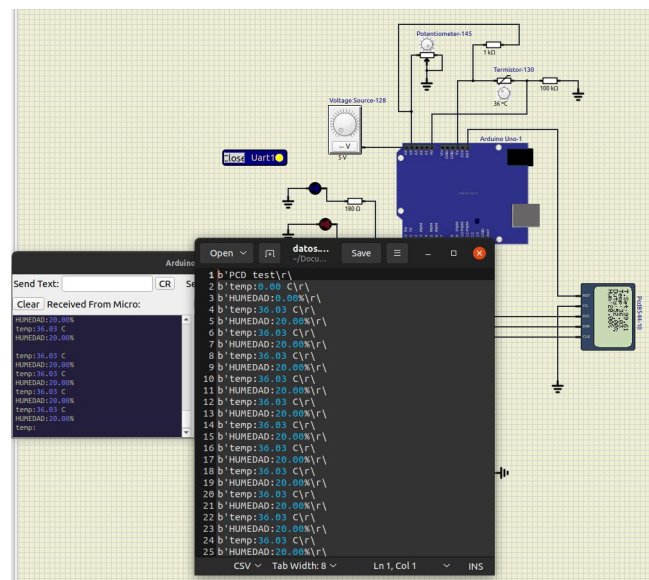


Figura 6: Comprobación de funcionamiento en los rangos de temperatura óptimos, en este caso 36°C.

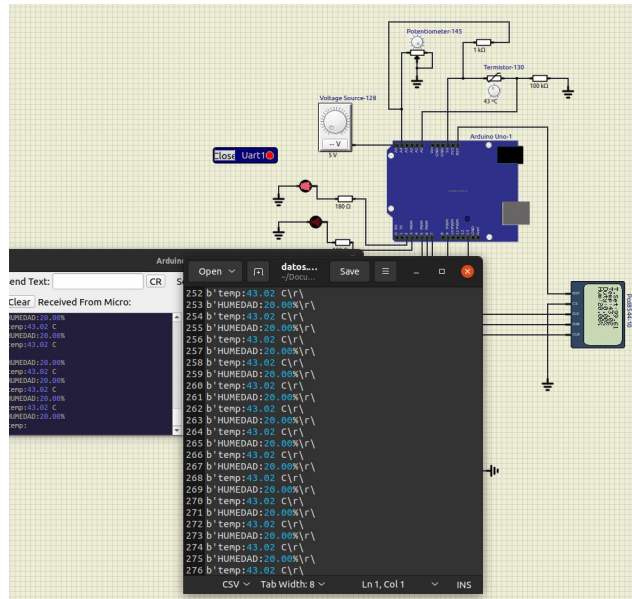


Figura 7: Comprobación de funcionamiento sobre 42°C, se enciende el LED de alarma rojo.

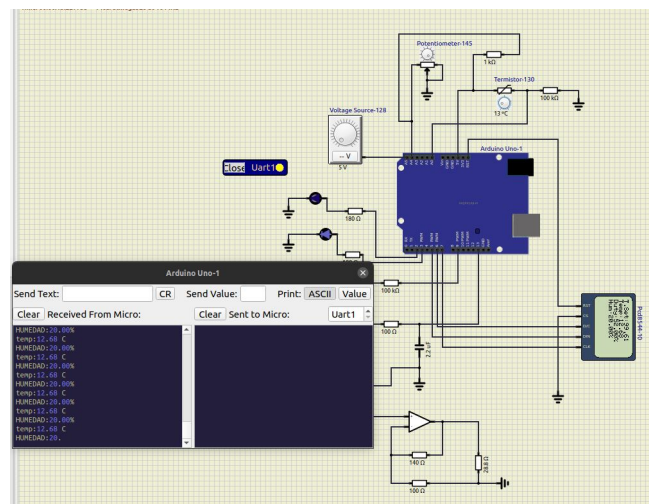


Figura 8: Comprobación de funcionamiento por debajo 30°C, se enciende el LED de alarma azul.

Por otro lado, viendo las imágenes de resultados anteriores también se puede comprobar el correcto funcionamiento del código de python para lograr redirigir los datos leídos a un archivo csv.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

- Mediante el microcontrolador ATmega32 y la placa base que ofrece Arduino, se ha logrado implementa el sistema que simula una incubadora automática que controla la temperatura en los rangos solicitados y se comunica con una PC.
- Se ha logrado representar adecuadamente los datos que comunica el censo sensor de temperatura DHT11 utilizando el protocolo de comunicación SPI.
- Mediante un sistema de control PID se ha logrado ajustar la temperatura deseada utilizando un potenciómetro como actuador.

- 
- Utilizando los conceptos básicos de la teoría de circuitos, se ha diseñado un sistema eléctrico para la generación de señales PWM, control de voltaje mediante un amplificador operacional, señales de advertencia generada por leds y manipulación del termistor.
  - Se ha logrado transmitir los datos controlados mediante la simulación de un puerto, /tmp/ttyS0 como la conexión con el microcontrolador y /tmp/ttyS1 en la recepción de la PC.
  - Mediante un script de Python se han capturado los datos utilizando la biblioteca **serial** y almacenado los en un archivo csv utilizando las funciones de la biblioteca **csv**.

## Referencias

- [1] A. Store, *Arduino Uno Rev3*. Arduino Home, 2022.
- [2] M. Tecnologi, *USART Using the USART in Asynchronous Mode*. Microchip Tecnologi, 2001.
- [3] Atmel, *ATmega328P DATASHEET SUMMARY*. Atmel-42735A, 2016.
- [4] byEvans Amoany, “Getting started with socat, a multipurpose relay tool for linux,” 2020.
- [5] A. G. González, “Librería dht para usar sensor de humedad y temperatura con arduino,” 2013.
- [6] V. García, “Lcd’s gráficos (pcd8544),” 2013.
- [7] ladyada, “adafruit\_pcd8544,” 2018.
- [8] E. Vaati, “How to read and write csv files in python,” 2017.
- [9] L. Llamas, “Controlar arduino con python y la librería pyserial,” 2016.
- [10] A. A. Gazi, O., *State Machines using VHDL: FPGA Implementation of Serial Communication and Display Protocols*. Springer, 2021.
- [11] K. D, “Introducción a la interfaz de periféricos en serie. embedded,” 2002. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20061111110015/http://www.embedded.com/showArticle.jhtml?articleID=9900483>.
- [12] M. Electronics, *DHT11 Humidity Temperature Sensor*. Mouser Electronics, 2013.

## 7. Anexos

### 7.1. Datasheet PIC2F675

## Introduction

The Atmel® picoPower® ATmega328/P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR® enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega328/P achieves throughputs close to 1MIPS per MHz. This empowers system designer to optimize the device for power consumption versus processing speed.

## Feature

High Performance, Low Power Atmel®AVR® 8-Bit Microcontroller Family

- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions
  - Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program Memory
  - 1KBytes EEPROM
  - 2KBytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data Retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Atmel® QTouch® Library Support
  - Capacitive Touch Buttons, Sliders and Wheels
  - QTouch and QMatrix® Acquisition
  - Up to 64 sense channels

- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Two Master/Slave SPI Serial Interface
  - One Programmable Serial USART
  - One Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - One On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
  - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
  - -40°C to 105°C
- Speed Grade:
  - 0 - 4MHz @ 1.8 - 5.5V
  - 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V
  - 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C
  - Active Mode: 0.2mA
  - Power-down Mode: 0.1µA
  - Power-save Mode: 0.75µA (Including 32kHz RTC)

---

## 7.2. Datasheet ATmega328

**Table 13-4. Start-up Times for the Low Power Crystal Oscillator Clock Selection**

Oscillator Source / Power Conditions	Start-up Time from Power-down and Power-save	Additional Delay from Reset ( $V_{CC} = 5.0V$ )	CKSEL0	SUT[1:0]
Ceramic resonator, fast rising power	258 CK	$14CK + 4.1ms^{(1)}$	0	00
Ceramic resonator, slowly rising power	258 CK	$14CK + 65ms^{(1)}$	0	01
Ceramic resonator, BOD enabled	1K CK	$14CK^{(2)}$	0	10
Ceramic resonator, fast rising power	1K CK	$14CK + 4.1ms^{(2)}$	0	11
Ceramic resonator, slowly rising power	1K CK	$14CK + 65ms^{(2)}$	1	00
Crystal Oscillator, BOD enabled	16K CK	14CK	1	01
Crystal Oscillator, fast rising power	16K CK	$14CK + 4.1ms$	1	10
Crystal Oscillator, slowly rising power	16K CK	$14CK + 65ms$	1	11

**Note:**

1. These options should only be used when not operating close to the maximum frequency of the device, and only if frequency stability at start-up is not important for the application. These options are not suitable for crystals.
2. These options are intended for use with ceramic resonators and will ensure frequency stability at start-up. They can also be used with crystals when not operating close to the maximum frequency of the device, and if frequency stability at start-up is not important for the application.

**Related Links**

[Low Power Crystal Oscillator](#) on page 50

## 13.4. Full Swing Crystal Oscillator

This Crystal Oscillator is a full swing oscillator, with rail-to-rail swing on the XTAL2 output. This is useful for driving other clock inputs and in noisy environments. The current consumption is higher than for the [Low Power Crystal Oscillator](#). Note that the Full Swing Crystal Oscillator will only operate for  $V_{CC}=2.7-5.5V$ .

Some initial guidelines for choosing capacitors for use with crystals are given in [Table 13-6](#). The crystal should be connected as described in *Clock Source Connections*.

The operating mode is selected based on the fuses CKSEL[3:1] as shown in the table:

**Table 13-5. Full Swing Crystal Oscillator operating modes**

Frequency Range <sup>(1)</sup> [MHz]	CKSEL[3:1]	Recommended Range for Capacitors C1 and C2 [pF]
0.4 - 20	011	12 - 22

**Note:**

1. If the crystal frequency exceeds the specification of the device (depends on  $V_{CC}$ ), the CKDIV8 Fuse can be programmed in order to divide the internal frequency by 8. It must be ensured that the resulting divided clock meets the frequency specification of the device.

For the Crystall Oscillator connections refer to [Low Power Crystal Oscillator](#).

**Table 13-6. Start-Up Times for the Full Swing Crystal Oscillator Clock Selection**

Oscillator Source / Power Conditions	Start-Up Time from Power-down and Power-save	Additional Delay from Reset ( $V_{CC} = 5.0V$ )	CKSEL0	SUT[1:0]
Ceramic resonator, fast rising power	258 CK	14CK + 4.1ms <sup>(1)</sup>	0	00
Ceramic resonator, slowly rising power	258 CK	14CK + 65ms <sup>(1)</sup>	0	01
Ceramic resonator, BOD enabled	1K CK	14CK <sup>(2)</sup>	0	10
Ceramic resonator, fast rising power	1K CK	14CK + 4.1ms <sup>(2)</sup>	0	11
Ceramic resonator, slowly rising power	1K CK	14CK + 65ms <sup>(2)</sup>	1	00
Crystal Oscillator, BOD enabled	16K CK	14CK	1	01
Crystal Oscillator, fast rising power	16K CK	14CK + 4.1ms	1	10
Crystal Oscillator, slowly rising power	16K CK	14CK + 65ms	1	11

**Note:**

1. These options should only be used when not operating close to the maximum frequency of the device, and only if frequency stability at start-up is not important for the application. These options are not suitable for crystals.
2. These options are intended for use with ceramic resonators and will ensure frequency stability at start-up. They can also be used with crystals when not operating close to the maximum frequency of the device, and if frequency stability at start-up is not important for the application.

**Related Links**

[Low Power Crystal Oscillator](#) on page 50

## 13.5. Low Frequency Crystal Oscillator

The Low-frequency Crystal Oscillator is optimized for use with a 32.768kHz watch crystal. When selecting crystals, load capacitance and crystal's Equivalent Series Resistance (ESR) must be taken into consideration. Both values are specified by the crystal vendor. The oscillator is optimized for very low power consumption, and thus when selecting crystals, consider the Maximum ESR Recommendations:

**Table 13-7. Maximum ESR Recommendation for 32.768kHz Crystal**

Crystal CL [pF]	Max. ESR [kΩ] <sup>(1)</sup>
6.5	75
9.0	65
12.5	30

**Note:**

1. Maximum ESR is typical value based on characterization.

The Low-frequency Crystal Oscillator provides an internal load capacitance at each TOSC pin:



---

### 7.3. Datasheet PCD8544

**48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver****PCD8544****1 FEATURES**

- Single chip LCD controller/driver
- 48 row, 84 column outputs
- Display data RAM 48 × 84 bits
- On-chip:
  - Generation of LCD supply voltage (external supply also possible)
  - Generation of intermediate LCD bias voltages
  - Oscillator requires no external components (external clock also possible).
- External  $\overline{\text{RES}}$  (reset) input pin
- Serial interface maximum 4.0 Mbits/s
- CMOS compatible inputs
- Mux rate: 48
- Logic supply voltage range  $V_{\text{DD}}$  to  $V_{\text{SS}}$ : 2.7 to 3.3 V
- Display supply voltage range  $V_{\text{LCD}}$  to  $V_{\text{SS}}$ 
  - 6.0 to 8.5 V with LCD voltage internally generated (voltage generator enabled)
  - 6.0 to 9.0 V with LCD voltage externally supplied (voltage generator switched-off).
- Low power consumption, suitable for battery operated systems
- Temperature compensation of  $V_{\text{LCD}}$
- Temperature range: –25 to +70 °C.

**2 GENERAL DESCRIPTION**

The PCD8544 is a low power CMOS LCD controller/driver, designed to drive a graphic display of 48 rows and 84 columns. All necessary functions for the display are provided in a single chip, including on-chip generation of LCD supply and bias voltages, resulting in a minimum of external components and low power consumption.

The PCD8544 interfaces to microcontrollers through a serial bus interface.

The PCD8544 is manufactured in n-well CMOS technology.

**3 APPLICATIONS**

- Telecommunications equipment.

**4 ORDERING INFORMATION**

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCD8544U	–	chip with bumps in tray; 168 bonding pads + 4 dummy pads	–

48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver

PCD8544

5 BLOCK DIAGRAM

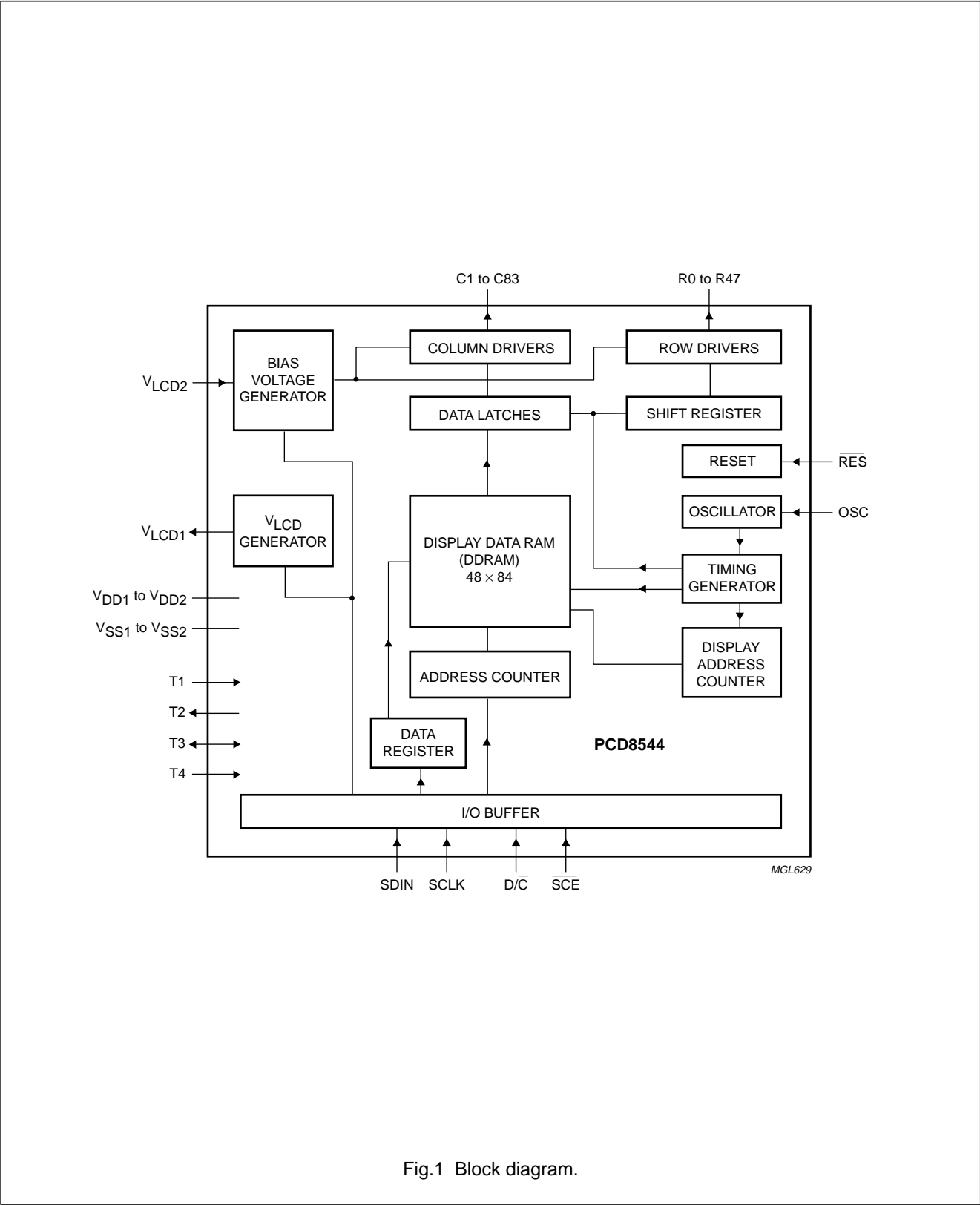


Fig.1 Block diagram.

---

#### 7.4. Datasheet Termistor

## 5. Limiting values

**Table 5. Limiting values**

*In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).*

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
$I_{\text{sen(cont)}}$	continuous sensor current	in free air; $T_{\text{amb}} = 25\text{ °C}$	-	10	mA
		in free air; $T_{\text{amb}} = 150\text{ °C}$	-	2	mA
$T_{\text{amb}}$	ambient temperature		-55	+150	°C

## 6. Characteristics

**Table 6. Characteristics**

*$T_{\text{amb}} = 25\text{ °C}$ ; in liquid; unless otherwise specified.*

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$R_{25}$	sensor resistance	$I_{\text{sen(cont)}} = 1\text{ mA}$				
		KTY81/110	990	-	1010	$\Omega$
		KTY81/120	980	-	1020	$\Omega$
		KTY81/121	980	-	1000	$\Omega$
		KTY81/122	1000	-	1020	$\Omega$
		KTY81/150	950	-	1050	$\Omega$
		KTY81/210	1980	-	2020	$\Omega$
		KTY81/220	1960	-	2040	$\Omega$
		KTY81/221	1960	-	2000	$\Omega$
		KTY81/222	2000	-	2040	$\Omega$
		KTY81/250	1900	-	2100	$\Omega$
TC	temperature coefficient		-	0.79	-	%/K
$R_{100}/R_{25}$	resistance ratio	$T_{\text{amb}} = 100\text{ °C}$ and $25\text{ °C}$	1.676	1.696	1.716	
$R_{-55}/R_{25}$	resistance ratio	$T_{\text{amb}} = -55\text{ °C}$ and $25\text{ °C}$	0.480	0.490	0.500	
$\Delta R_{25}$	drift of sensor resistance at $25\text{ °C}$	10000 h continuous operation; $T_{\text{amb}} = 150\text{ °C}$				
		KTY81/1 series	-	1.6	-	$\Omega$
		KTY81/2 series	-	3.2	-	$\Omega$
$\tau_{\text{th}}$	thermal time constant	in still air	[1] -	30	-	s
		in still liquid	[1] -	5	-	s
		in flowing liquid	[1] -	3	-	s

- [1] The thermal time constant is the time taken for the sensor to reach 63.2 % of the total temperature difference. For example, if a sensor with a temperature of  $25\text{ °C}$  is moved to an environment with an ambient temperature of  $100\text{ °C}$ , the time for the sensor to reach a temperature of  $72.4\text{ °C}$  is the thermal time constant.

**Table 7. Ambient temperature, corresponding resistance, temperature coefficient and maximum expected temperature error for KTY81/110 and KTY81/120** $I_{sen(cont)} = 1\text{ mA}$ .

Ambient temperature		Temperature coefficient (%/K)	KTY81/110				KTY81/120			
(°C)	(°F)		Resistance (Ω)			Temperature error (K)	Resistance (Ω)			Temperature error (K)
			Min	Typ	Max		Min	Typ	Max	
−55	−67	0.99	475	490	505	±3.02	470	490	510	±4.02
−50	−58	0.98	500	515	530	±2.92	495	515	535	±3.94
−40	−40	0.96	552	567	582	±2.74	547	567	588	±3.78
−30	−22	0.93	609	624	638	±2.55	603	624	645	±3.62
−20	−4	0.91	669	684	698	±2.35	662	684	705	±3.45
−10	14	0.88	733	747	761	±2.14	726	747	769	±3.27
0	32	0.85	802	815	828	±1.91	793	815	836	±3.08
10	50	0.83	874	886	898	±1.67	865	886	907	±2.88
20	68	0.80	950	961	972	±1.41	941	961	982	±2.66
25	77	0.79	990	1000	1010	±1.27	980	1000	1020	±2.54
30	86	0.78	1029	1040	1051	±1.39	1018	1040	1061	±2.68
40	104	0.75	1108	1122	1136	±1.64	1097	1122	1147	±2.97
50	122	0.73	1192	1209	1225	±1.91	1180	1209	1237	±3.28
60	140	0.71	1278	1299	1319	±2.19	1265	1299	1332	±3.61
70	158	0.69	1369	1392	1416	±2.49	1355	1392	1430	±3.94
80	176	0.67	1462	1490	1518	±2.8	1447	1490	1532	±4.3
90	194	0.65	1559	1591	1623	±3.12	1543	1591	1639	±4.66
100	212	0.63	1659	1696	1733	±3.46	1642	1696	1750	±5.05
110	230	0.61	1762	1805	1847	±3.83	1744	1805	1865	±5.48
120	248	0.58	1867	1915	1963	±4.33	1848	1915	1982	±6.07
125	257	0.55	1919	1970	2020	±4.66	1899	1970	2040	±6.47
130	266	0.52	1970	2023	2077	±5.07	1950	2023	2097	±6.98
140	284	0.45	2065	2124	2184	±6.28	2043	2124	2205	±8.51
150	302	0.35	2145	2211	2277	±8.55	2123	2211	2299	±11.43

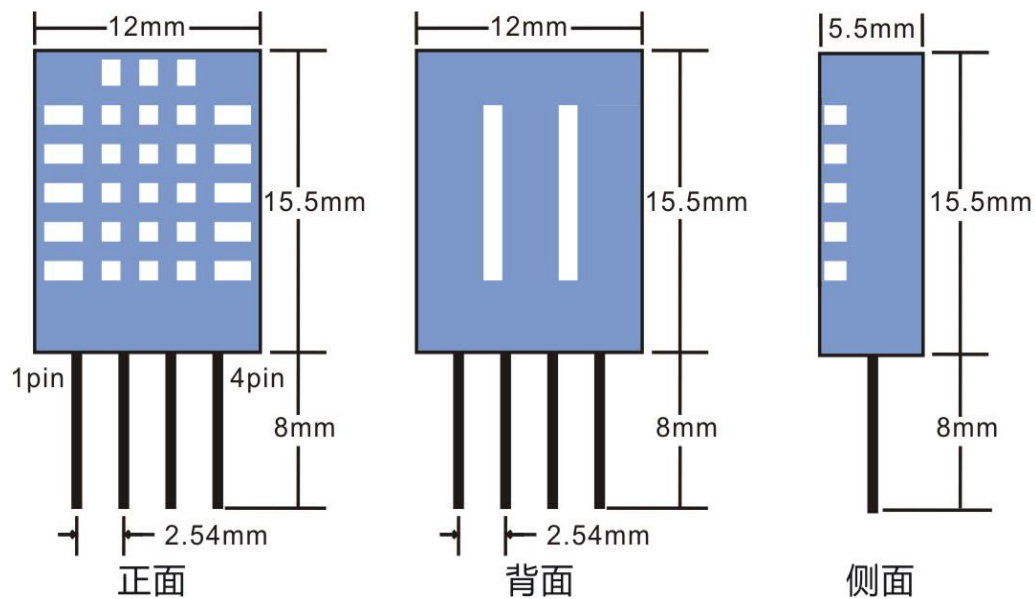
---

## 7.5. Datasheet DHT11

### 3. Technical Specification:

Model	DHT11	
Power supply	3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer resistor	
Measuring range	humidity 20-90%RH; temperature 0-50 Celsius	
Accuracy	humidity $\pm 4\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH); temperature $\pm 2.0$ Celsius	
Resolution sensitivity	or	humidity 1%RH;                      temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity $\pm 1\%$ RH;                      temperature $\pm 1$ Celsius	
Humidity hysteresis	$\pm 1\%$ RH	
Long-term Stability	$\pm 0.5\%$ RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	size 12*15.5*5.5mm	

### 4. Dimensions: (unit----mm)



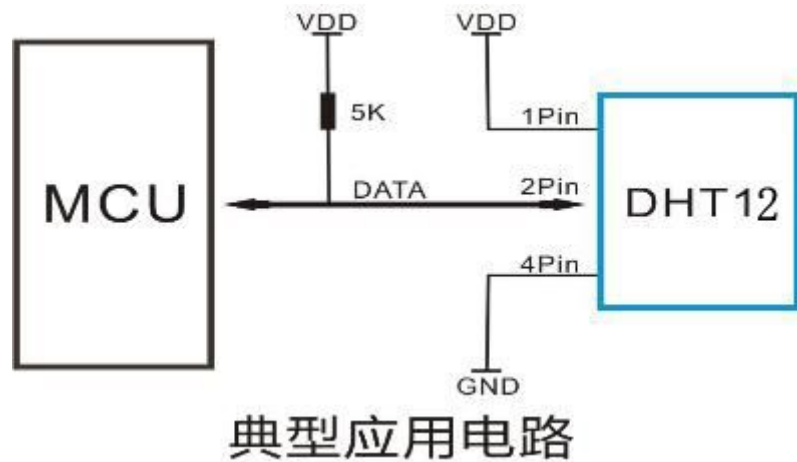
Front view

Back view

Side view



## 5. Typical application



**3Pin-NULL, MCU=Microcomputer or single-chip computer**

## 6. Operating specifications:

### (1) Power and Pins

Power's voltage should be 3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

### (2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT11.

## 7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3	5	5.5	V
Current supply	Measuring	0.5		2.5	mA
	Stand-by	100	Null	150	uA
	Average	0.2	Null	1	mA

---

## 7.6. Datasheet OPA564



## 1.5A, 24V, 17MHz POWER OPERATIONAL AMPLIFIER

Check for Samples: [OPA564](#)

### FEATURES

- **HIGH OUTPUT CURRENT: 1.5A**
- **WIDE POWER-SUPPLY RANGE:**
  - **Single Supply: +7V to +24V**
  - **Dual Supply:  $\pm 3.5V$  to  $\pm 12V$**
- **LARGE OUTPUT SWING:  $20V_{PP}$  at 1.5A**
- **FULLY PROTECTED:**
  - **THERMAL SHUTDOWN**
  - **ADJUSTABLE CURRENT LIMIT**
- **DIAGNOSTIC FLAGS:**
  - **OVER-CURRENT**
  - **THERMAL SHUTDOWN**
- **OUTPUT ENABLE/SHUTDOWN CONTROL**
- **HIGH SPEED:**
  - **GAIN-BANDWIDTH PRODUCT: 17MHz**
  - **FULL-POWER BANDWIDTH AT  $10V_{PP}$ : 1.3MHz**
  - **SLEW RATE:  $40V/\mu s$**
- **DIODE FOR JUNCTION TEMPERATURE MONITORING**
- **HSOP-20 PowerPAD™ PACKAGE**  
(Bottom- and Top-Side Thermal Pad Versions)

### APPLICATIONS

- **POWERLINE COMMUNICATIONS**
- **VALVE, ACTUATOR DRIVER**
- **$V_{COM}$  DRIVER**
- **MOTOR DRIVER**
- **AUDIO POWER AMPLIFIER**
- **POWER-SUPPLY OUTPUT AMPLIFIER**
- **TEST EQUIPMENT AMPLIFIER**
- **TRANSDUCER EXCITATION**
- **LASER DIODE DRIVER**
- **GENERAL-PURPOSE LINEAR POWER BOOSTER**

### DESCRIPTION

The OPA564 is a low-cost, high-current operational amplifier that is ideal for driving up to 1.5A into reactive loads. The high slew rate provides 1.3MHz full-power bandwidth and excellent linearity. These monolithic integrated circuits provide high reliability in demanding powerline communications and motor control applications.

The OPA564 operates from a single supply of 7V to 24V, or dual power supplies of  $\pm 3.5V$  to  $\pm 12V$ . In single-supply operation, the input common-mode range extends to the negative supply. At maximum output current, a wide output swing provides a  $20V_{PP}$  ( $I_{OUT} = 1.5A$ ) capability with a nominal 24V supply.

The OPA564 is internally protected against over-temperature conditions and current overloads. It is designed to provide an accurate, user-selected current limit. Two flag outputs are provided; one indicates current limit and the second shows a thermal over-temperature condition. It also has an Enable/Shutdown pin that can be forced low to shut down the output, effectively disconnecting the load.

The OPA564 is housed in a thermally-enhanced, surface-mount PowerPAD™ package (HSOP-20) with the choice of the thermal pad on either the top side or the bottom side of the package. Operation for both versions is specified over the industrial temperature range,  $-40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$ .

### OPA564 RELATED PRODUCTS

FEATURES	DEVICE
Zero-Drift PGA with 2-Channel Input Mux and SPI	<a href="#">PGA112</a>
Zero-Drift Operational Amplifier, 50MHz, RRI/O, Single-Supply	<a href="#">OPA365</a>
Quad Operational Amplifier, JFET Input, Low Noise	<a href="#">TL074</a>
Power Operational Amplifier, 1.2A, 15V, 17MHz, $50V/\mu s$	<a href="#">OPA561</a>



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments, Inc.

All other trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

© 2008–2011, Texas Instruments Incorporated



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

### PACKAGE/ORDERING INFORMATION<sup>(1)</sup>

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	PACKAGE MARKING
OPA564	HSOP-20 (PowerPAD on bottom)	DWP	OPA564
	HSOP-20 (PowerPAD on top)	DWD	OPA564

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at [www.ti.com](http://www.ti.com).

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Over operating free-air temperature range (unless otherwise noted).

		OPA564	UNIT
Supply Voltage, $V_S = (V+) - (V-)$		+26	V
Signal Input Terminals	Voltage <sup>(2)</sup>	$(V-) - 0.4$ to $(V+) + 0.4$	V
	Current Through ESD Diodes <sup>(2)</sup>	±10	mA
	Maximum Differential Voltage Across Inputs <sup>(3)</sup>	0.5	V
Signal Output Terminals	Voltage	$(V-) - 0.4$ to $(V+) + 0.4$	V
	Current <sup>(4)</sup>	±10	mA
Output Short-Circuit <sup>(5)</sup>		Continuous	
Operating Junction Temperature, $T_J$		–40 to +125	°C
Storage Temperature, $T_A$		–55 to +150	°C
Junction Temperature, $T_J$		+150	°C
ESD Ratings	Human Body Model (HBM)	4000	V
	Charged Device Model (CDM)	1000	V
	Machine Model (MM)	200	V

- (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not supported.
- (2) Input terminals are diode-clamped to the power-supply rails. Signals that can swing more than 0.4V beyond the supply rails should be current limited to 10mA or less.
- (3) Refer to [Figure 43](#) for information on input protection. See [Input Protection](#) section.
- (4) Output terminals are diode-clamped to the power-supply rails. Input signals forcing the output terminal more than 0.4V beyond the supply rails should be current limited to 10mA or less.
- (5) Short-circuit to ground within SOA. See [Power Dissipation and Safe Operating Area](#) for more information.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

**Boldface** limits apply over the specified temperature range:  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ .

At  $T_{\text{CASE}} = +25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_S = \pm 12\text{V}$ ,  $R_{\text{LOAD}} = 20\text{k}\Omega$  to GND,  $R_{\text{SET}} = 7.5\text{k}\Omega$ , and  $\text{E}/\text{S}$  pin enabled, unless otherwise noted.

PARAMETERS	CONDITIONS	OPA564			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
OFFSET VOLTAGE					
Input Offset Voltage <b>vs Temperature</b> vs Power Supply	$V_{OS}$ $dV_{OS}/dT$ PSRR	$V_{CM} = 0V$  $V_{CM} = 0V, V_S = \pm 3.5V \text{ to } \pm 13V$	 $\pm 2$ <b><math>\pm 10</math></b> 10	 $\pm 20$  150	mV $\mu V/^{\circ}C$ $\mu V/V$
INPUT BIAS CURRENT					
Input Bias Current <sup>(1)</sup> <b>vs Temperature</b>	$I_B$	$V_{CM} = 0V$	See <a href="#">Figure 10, Typical Characteristics</a>	10 100	pA
Input Offset Current <sup>(1)</sup>	$I_{OS}$			10 100	pA
NOISE					
Input Voltage Noise Density	$e_n$	$f = 1kHz$ $f = 10kHz$ $f = 100kHz$	102.8 20 8		$nV/\sqrt{Hz}$ $nV/\sqrt{Hz}$ $nV/\sqrt{Hz}$
Input Current Noise	$I_n$	$f = 1kHz$	4		$fA/\sqrt{Hz}$
INPUT VOLTAGE RANGE					
Common-Mode Voltage Range: Common-Mode Rejection Ratio <b>vs Temperature</b>	$V_{CM}$ CMRR	Linear Operation $V_{CM} = (V-) \text{ to } (V+)-3V$	(V-) 70  See <a href="#">Figure 9, Typical Characteristics</a>	(V+)-3 80	V dB
INPUT IMPEDANCE					
Differential Common-Mode				$10^{12} \parallel 16$ $10^{12} \parallel 9$	$\Omega \parallel pF$ $\Omega \parallel pF$
OPEN-LOOP GAIN					
Open-Loop Voltage Gain	$A_{OL}$	$V_{OUT} = 20V_{PP}, R_{LOAD} = 1k\Omega$ $V_{OUT} = 20V_{PP}, R_{LOAD} = 10\Omega$	80	108 93	dB dB
FREQUENCY RESPONSE					
Gain-Bandwidth Product <sup>(1)</sup> Slew Rate Full Power Bandwidth Settling Time $\pm 0.1\%$ $\pm 0.01\%$ Total Harmonic Distortion + Noise	GBW SR    THD+N	$R_{LOAD} = 5\Omega$ $G = 1, 10V \text{ Step}$ $G = +2, V_{OUT} = 10V_{PP}$ $G = +1, 10V \text{ Step}, C_{LOAD} = 100pF$ $G = +1, 10V \text{ Step}, C_{LOAD} = 100pF$ $f = 1kHz, R_{LOAD} = 5\Omega, G = +1, V_{OUT} = 5V_P$	   0.6 0.8 0.003	17 40 1.3	MHz V/ $\mu s$ MHz $\mu s$ $\mu s$ %
OUTPUT					
Voltage Output: Positive Negative Positive Negative	$V_{OUT}$	$I_{OUT} = 0.5A$ $I_{OUT} = -0.5A$ $I_{OUT} = 1.5A$ $I_{OUT} = -1.5A$	(V+)-1 (V-)+1 (V+)-2 (V-)+2	(V+)-0.4 (V-)+0.3 (V+)-1.5 (V-)+1.1	V V V V

(1) See [Typical Characteristics](#).