



## **Sistema de supervisión de humedad y temperatura a distancia**

Joaquín Staciuk <sup>a\*</sup>, Juan P. Gross <sup>b</sup>, Guillermo A. Fernández <sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.*

<sup>b</sup> *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Instituto de Materiales de Misiones (IMAM), Misiones, Argentina.*

*ETCOLAB, GIDE, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.*

*joaquinstaciuk.96@gmail.com, gross@fio.unam.edu.ar, fernandez@fio.unam.edu.ar*

---

### **Resumen**

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de un sistema electrónico realizado como actividad integradora en la asignatura Técnicas Digitales 2, correspondiente a la carrera de Ingeniería Electrónica. La actividad integradora tiene por objetivos la puesta en práctica de los saberes adquiridos durante el curso de la asignatura, así como también la vinculación de los mismos con los obtenidos en otras asignaturas de la carrera. Esta actividad consistió en desarrollar un prototipo funcional de un sistema embebido orientado a la supervisión remota de temperatura y humedad, el cual también proporciona acciones de control sobre estas variables cuando superan cierto valor de umbral. Los valores de umbral para cada variable son configurables por el usuario mediante una interfaz conformada por pulsadores y una pantalla. El desarrollo del sistema mencionado posee una etapa de medición remota y una etapa local, a través de la cual puede efectuarse la monitorización y control a distancia, haciendo uso de la comunicación serie entre un microcontrolador remoto y otro microcontrolador local. El trabajo realizado cumplió con los requisitos solicitados para la actividad integradora, permitiendo asociar las habilidades y conocimientos adquiridos mediante el desarrollo de un sistema funcional que fácilmente podría volcarse a una aplicación en la vida real. Durante el desarrollo del trabajo se encontraron algunas limitaciones propias del diseño y del medio de comunicación empleado para la interconexión entre las unidades. Estas limitaciones constituyen puertas a futuros desarrollos y mejoras para el sistema propuesto.

*Palabras Clave – Sensores remotos, microcontroladores, medición parámetros ambientales.*

### **1. Introducción**

La medición y control de magnitudes físicas a distancia en la actualidad son indispensables, aplicándose a casi todos los procesos industriales y constituyen la base de cualquier sistema de recolección de datos aplicables a control de producción y calidad.

En el presente trabajo se muestra el diseño, construcción y los ensayos obtenidos como resultados en el desarrollo de un equipo electrónico capaz de medir en forma remota variables de interés para el usuario y también de activar salidas destinadas a ejecutar acciones de control en base a decisiones sobre el valor de las variables medidas.

El sistema propuesto realiza la medición de temperatura y humedad relativa mediante el dispositivo integrado Aosong® DHT11 [1], que consta de un sensor de temperatura tipo NTC, un sensor de

humedad y un circuito integrado que permite la comunicación serie de las variables medidas. La unidad de medición remota que posee el circuito propuesto, está conformada por el sensor mencionado y una placa tipo Arduino® UNO que se encarga de gestionar las mediciones y llevar a cabo las comunicaciones remotas con la unidad de control principal, constituida por un Arduino® MEGA [3].

El programa realizado para la unidad de control principal, toma los valores de las mediciones realizadas por la unidad de medición remota y los compara con valores umbrales predefinidos por el usuario, considerados estos como “valores consigna” para la lógica de control de las variables medidas. La comparación de los valores medidos con los umbrales, es realizada periódicamente y en caso de que se supere alguno de estos valores predefinidos, el circuito de control comanda la salida de potencia (implementada con relés) que permite controlar el arranque/parada de un mecanismo de control para la respectiva variable (por ejemplo: si hay un exceso en la temperatura, la salida de potencia permite encender un ventilador para enfriar el ambiente donde está el sensor). Es importante destacar que, si bien la lógica de control está implementada en la unidad de control principal, la acción de control es ejecutada sobre el proceso monitoreado por la unidad de medición remota.

La unidad de control principal posee una interfaz de usuario que permite la monitorización remota de las variables medidas, así como también posibilita la comprobación del estado de las salidas controladas por la lógica de control.

## 2. Diseño del sistema de supervisión

Según la operación del sistema propuesto, el mismo puede dividirse en dos etapas básicas, como lo representa la Fig. 1.

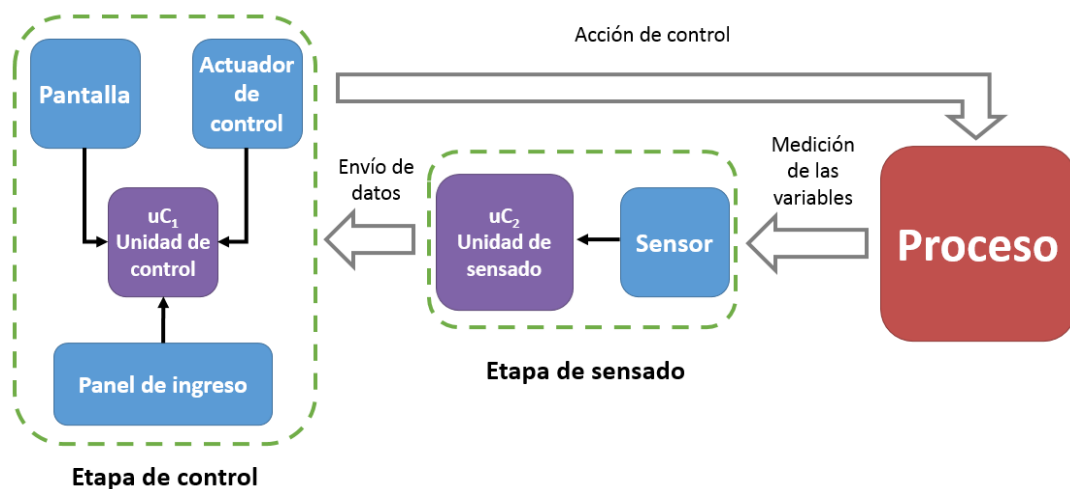


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema de supervisión de humedad y temperatura a distancia.

A continuación, se describen las etapas indicadas en la Fig. 1:

✚ Etapas de medición:

Conformada por el sensor DHT11 y un primer microcontrolador destinado a realizar las mediciones correspondientes sobre el proceso de planta y envía las mismas a la unidad de control.

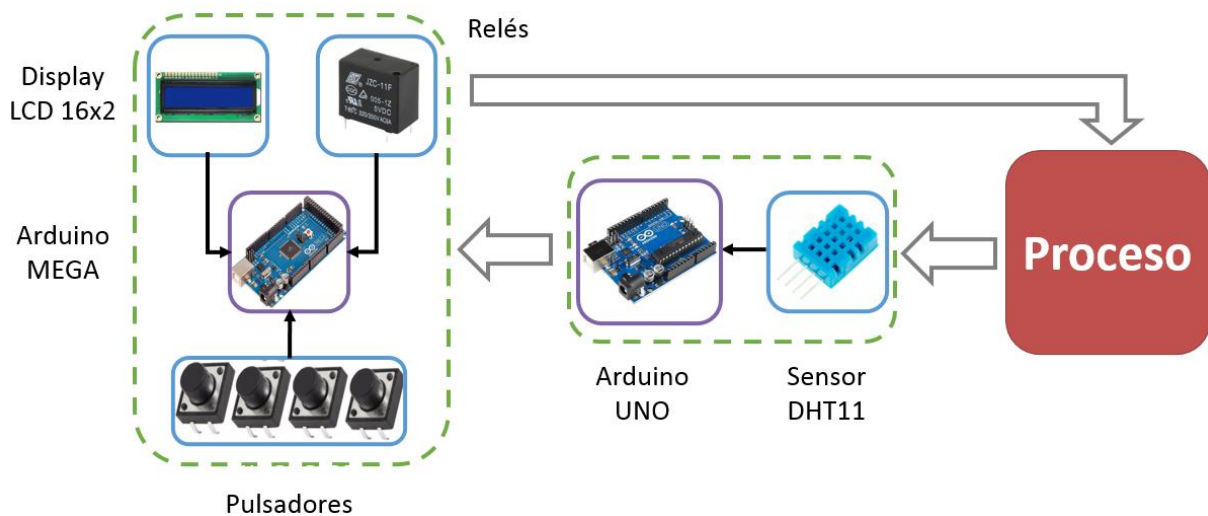
✚ Etapas de control:

Conformada por un segundo microcontrolador, una pantalla y botonera para para permitir la interacción con el usuario, y un par de relés que controlan las conexiones de potencia. Destinada a encargarse de recibir las mediciones y administrar la lógica de control y el comando de potencia de los mecanismos externos.

Las etapas indicadas constituyen a las unidades de control principal y de medición remota respectivamente. En los siguientes párrafos se describen las partes constitutivas de cada una de estas unidades, como así también los criterios de selección adoptados en el diseño del circuito correspondiente.

### 2.1. Selección de componentes y circuito

Identificados las funciones de cada etapa del sistema, procedimos a seleccionar los componentes en base a su papel y a la disponibilidad de los mismos, teniendo en cuenta la posibilidad de su mantenimiento y reparación a futuro. A partir de esto, la Fig. 2 muestra los componentes utilizados para el desarrollo del sistema de supervisión.



**Fig. 2.** Componentes del sistema de supervisión de humedad y temperatura a distancia.

Seguidamente se describen los componentes seleccionados para cada etapa del sistema de supervisión, los cuales están indicados en la Fig. 2:

Arduino® UNO: Para la unidad de medición remota se seleccionó una placa Arduino® Uno que cuenta con un microcontrolador embebido Atmega328 [4]. Dicho dispositivo posee las características técnicas necesarias para llevar a cabo la función de lectura y comunicación de los valores medidos por el sensor.

Sensor DHT11: Para la medición de humedad y temperatura, se utilizó el sensor digital DHT11, el cual permite una medición de humedad relativa en un rango 20-80% y de temperatura 0-50 °C [1].

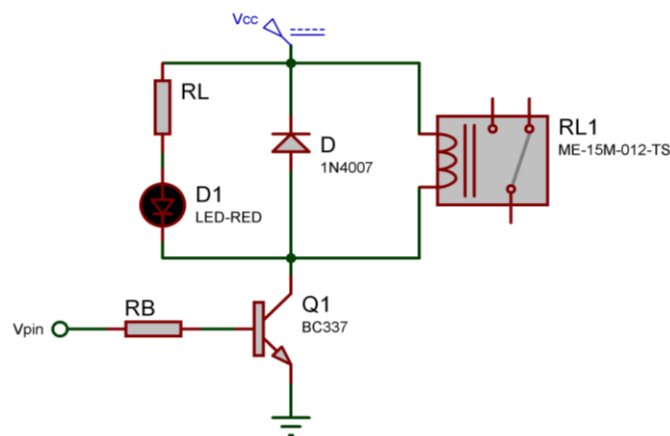
Arduino® MEGA: Para el bloque encargado de administrar tanto la lógica de control como la interfaz del usuario, se seleccionó una placa Arduino® MEGA, que cuenta con un microcontrolador Atmega2560 [5]. Dicho dispositivo cuenta con algunas características de velocidad y memoria que lo hacen adecuado para llevar a cabo la función principal de control en el sistema.

Pantalla: Como parte de la interfaz de usuario, se seleccionó una pantalla LCD (*Liquid Crystal Display*) estándar de 2 líneas y 16 caracteres [6]. Estas características permiten la visualización de los 2 valores de medición, así como también del menú de configuración desarrollado.

Pulsadores: Para completar la interfaz de usuario se utilizó una botonera conformada por 3 pulsadores. Los mismos permiten:

- Intercambiar entre las pantallas de visualización de las variables medidas y las opciones de configuración.
- Ajustar los valores umbrales para la lógica de control.

Relés: Como actuadores de control para la etapa de potencia se seleccionaron un par de relés. Estos permiten un control de tipo ON/OFF [2] para cualquier tipo de dispositivo al que se conecten al sistema desarrollado (bombas, luces, ventiladores, etc.), de acuerdo con las necesidades del usuario. Dada la disponibilidad del mercado, el modelo de relé utilizado es el ME-15M 12VDC [7]. Para el correcto control de los relés, se diseña una etapa de potencia intermedia que adecúa las señales de salida del microcontrolador a la hora de accionarlos. Para ello se utilizó el circuito indicado en la Fig. 3.



**Fig. 3.** Esquema del circuito buffer para comandar al relé.

En el circuito de la Fig. 3, los resistores  $RL$  y  $RB$  pueden dimensionarse a partir de las siguientes ecuaciones.

$$RL = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (1)$$

$$RB = \frac{V_{pin} - V_{BE}}{I} = \frac{V_{pin} - V_{BE}}{5 \cdot I_{Bmin}} = \frac{V_{pin} - V_{BE}}{5 \cdot \frac{I_C}{\beta}} = \frac{V_{pin} - V_{BE}}{5 \cdot \frac{I_{LED} + I_{Rele}}{\beta}} \quad (2)$$

A partir de los datos indicados en la Tabla 1, los resistores resultan:  $RL = 1k\Omega / \frac{1}{4}W$  y  $RB = 2,2k\Omega / \frac{1}{4} W$ .

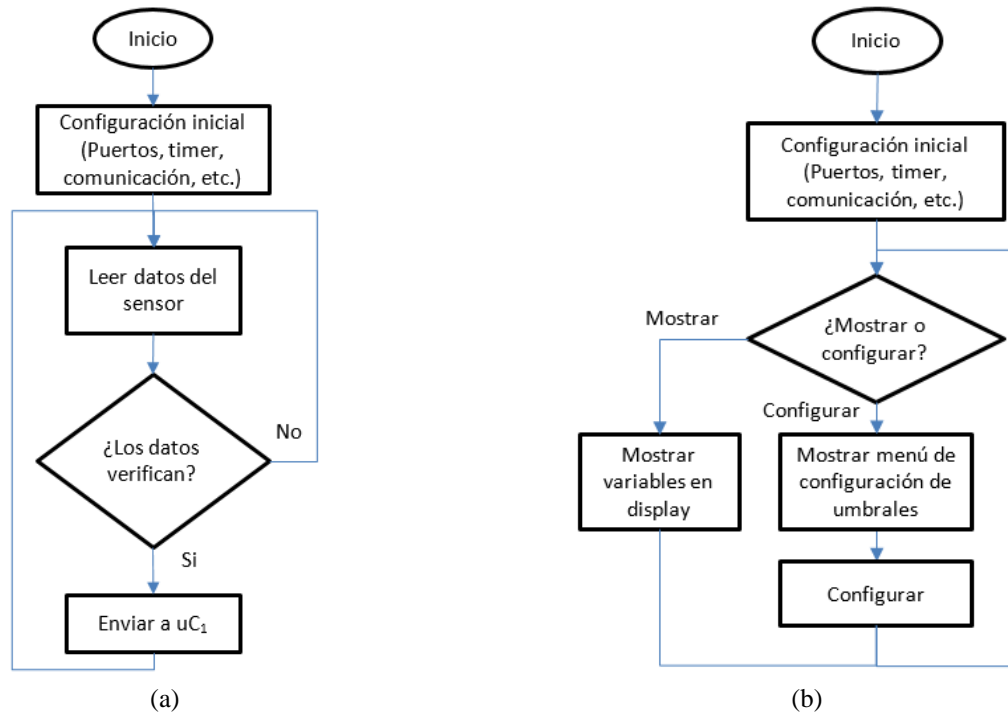
**Tabla 1.** Parámetros técnicos usados en el cálculo del circuito buffer.

Referencia	Valor	Observaciones
$V_{CC}$	12 V	Tensión de alimentación
$V_{CE}$	0,7 V	Tensión colector emisor en saturación [8]
$V_{LED}$	2 V	Tensión de LED
$I_{LED}$	10 mA	Corriente de LED
$V_{pin}$	5 V	Tensión de salida del pin [5]
$V_{BE}$	0,7 V	Tensión base emisor en saturación [8]
$I_{Bmin}$	0,5 mA	Corriente de base mínima
$I_C$	50 mA	Corriente de colector
$\beta$	100	Ganancia de corriente del transistor [8]
$I_{Rele}$	40 mA	Corriente del relé [7]

**Comunicación:** Para la comunicación entre las unidades de medición y control se utilizó una interfaz serie, implementada a partir del periférico de los microcontroladores llamado USART (*Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*), que se encarga de los aspectos físicos y lógicos de la comunicación serie, desligando de esa tarea a la unidad central de proceso del dispositivo. El periférico es flexible y permite ser programado para adecuarse a las características de comunicación deseadas. En el presente proyecto se utilizó un esquema de comunicación bidireccional llamado “Half-duplex” donde si bien ambos extremos del bus pueden transmitir y recibir, sólo uno de ellos lo hace en cada momento.

## 2.2. Firmware para los microcontroladores

Con los bloques del sistema definidos y los componentes de *hardware* seleccionados, se pasa a desarrollar los programas (*firmware*) para los microcontroladores de ambas unidades, utilizando para esto el lenguaje C en la plataforma Atmel Studio®. Los diagramas de flujo generales de estos programas, son mostrados en las Fig. 4 y 5. Una vez terminado cada uno de ellos, se validó su operación mediante simulación, utilizando para esto el software Proteus®.



**Fig. 4.** Diagrama de flujo general del programa: (a) Unidad de medición remota; (b) Unidad de control principal.

Para la unidad de medición remota, Fig. 4 (a), la lógica del programa se basó en: a) La lectura de las mediciones realizadas por el sensor y su respectiva validación; b) El envío de los datos a la unidad de control principal, una vez corroborados. En dicha figura, también puede observarse que la configuración inicial del microcontrolador es realizada de forma estática dentro del programa, siendo inalterable en el tiempo de ejecución. La lectura y validación de datos realizados en el programa, implicó comunicarse con el sensor DHT11 utilizando su propio protocolo de comunicaciones [1], procesarlo, validar los datos binarios recibidos (mediante una suma de comprobación) y decodificarlos en los valores de temperatura y humedad para finalmente comunicarlos a intervalos regulares (cada 1s) a la placa de control.

Para la unidad de control principal, Fig. 4 (b), la lógica del programa se basó en: a) La recepción de las mediciones y su presentación en la pantalla; b) La configuración de los valores umbrales asociados a la lógica de control; c) El comando de las salidas de potencia en base al contraste entre los datos recibidos y los valores umbrales. Dado que esta unidad debía ser capaz tanto de mostrar las mediciones recibidas como de configurar los valores umbrales en tiempo de ejecución, la lógica del programa se diseñó de tal forma que permite al usuario conmutar entre los estados de “visualización de las variables” y “configuración”. En el modo visualización, el programa simplemente muestra en pantalla los valores recibidos de la unidad de medición. Y en caso de ser necesario, acciona las salidas correspondientes. En modo configuración, el programa permite al usuario configurar mediante los botones, y un menú los valores umbrales superiores de las variables a controlar. De modo que, si los valores obtenidos de la unidad de medición se encuentran por encima del límite establecido, se

enciende el relé de salida asociado a dicha magnitud. A fin de evitar que las acciones de control oscilen debido a mediciones en torno a los valores límites establecidos se incluyó un valor de umbral inferior a la hora de desactivar los relés de salida.

### 3. Resultados

En el Anexo1 puede observarse el circuito del sistema simulado y construido. La Tabla 2 resume los componentes utilizados en el desarrollado del mismo.

#### 3.1. Simulación

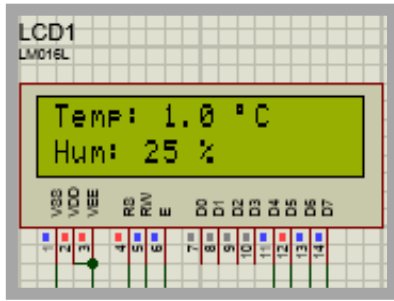
Finalizada la selección de los componentes del hardware y el desarrollo de los programas correspondientes, se comprobó la operación del sistema propuesto mediante la simulación con el software Proteus®, implementándose el diseño de cada unidad del sistema y probándose la comunicación y el desempeño del firmware en cada microcontrolador.

**Tabla 2.** Lista de componentes utilizados en el circuito.

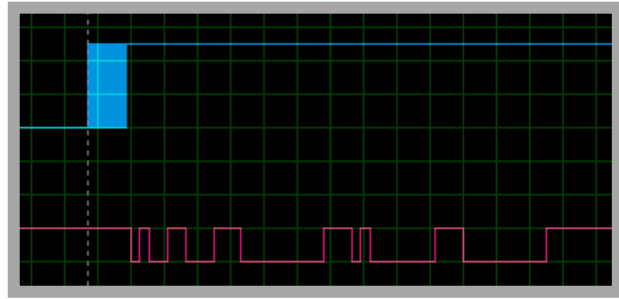
Referencia	Cantidad	Observaciones
LCD1	1	Display LCD 1602
R1, R2, R3, R5, R7	5	Resistor 1 kΩ
R6, R8	2	Resistor 2,2 kΩ
R4	1	Resistor 5 kΩ
Q1, Q2	2	Transistor BC337
RL1, RL2	2	Relé 5VDC
D1, D3	2	Diodo 1N4007
D2, D4	2	LED Rojo 5 mm
ARD1	1	Placa Arduino® UNO
ARD2	1	Placa Arduino® MEGA
U1	1	Sensor DHT11

En la simulación se realizaron mediciones sobre los datos enviados desde la unidad de medición remota (ARD1) a la unidad de control principal (ARD2) y sobre los datos enviados desde el sensor DHT11 (U1) a la unidad de medición remota (ARD2). Para realizar esto, en el sensor se usó una configuración de  $T = 1,0^{\circ}\text{C}$  y  $H = 25\%$ . Los resultados obtenidos pueden observarse en la Fig. 7.

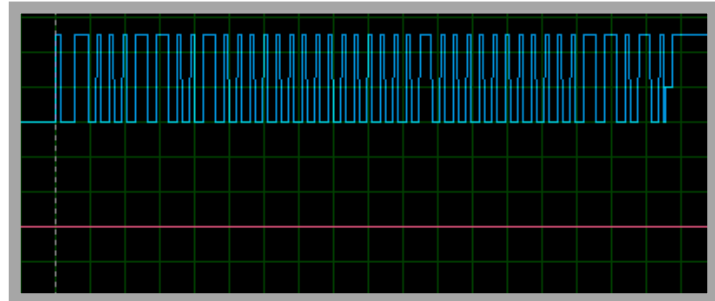
Como podemos apreciar en la Fig. 7 (b), la velocidad de transferencia de datos entre el sensor y la unidad de medición remota (ARD1) es bastante mayor en comparación a la transferencia de datos entre los microcontroladores. Si bien es de suponer que podría elevarse la velocidad de esta última transferencia y realizar lecturas del sensor en forma más rápida para obtener un seguimiento más veloz de las variables de interés, dado las especificaciones del sensor DHT11 [1], con el mismo no pueden obtenerse velocidades mayores a una lectura por segundo. Esto a su vez, puede representar un factor a ser considerado a la hora de utilizar este sistema en determinada aplicación.





(a)



(b)

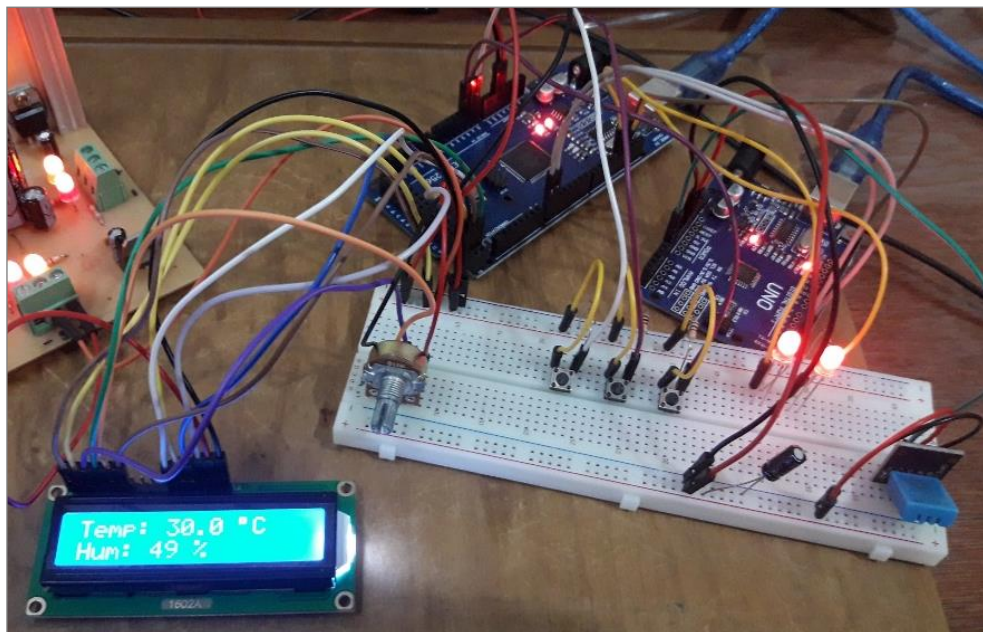


(c)

-  Señal recibida por el sensor.
-  Señal de transmisión entre los microcontroladores.

**Fig. 5.** Resultados de simulación: (a) Valores mostrados por la pantalla LCD1; (b) Indicación del osciloscopio del simulador; (c) Ampliación de la señal enviada por el sensor DHT11.

Seguidamente se describen las pruebas realizadas con el prototipo experimental, mostrándose los resultados obtenidos en las mismas.



**Fig. 6.** Prototipo experimental del sistema de supervisión de humedad y temperatura a distancia.



### 3.2. Implementación práctica

Habiéndose comprobado una correcta comunicación y transferencia de datos entre las unidades y con el sensor en la simulación, el sistema desarrollado fue implementado sobre una placa de pruebas como lo muestra la Fig. 8. Esto fue realizado así, dado que el desarrollo del mismo ha sido fuera de los laboratorios de la facultad, debido a las restricciones a la presencialidad que hubo durante el cursado del año 2020. En la implementación se usaron los materiales y componentes disponibles por el autor.

Para verificar la operación del prototipo indicado en la Fig. 8, fueron realizadas distintas pruebas, las cuales pueden resumirse como se indica a continuación:

1. La primera prueba realizada, consistió en evaluar el desempeño de la unidad de control principal, tanto la interfaz de usuario (botonera y pantalla) como de los relés actuadores. Para esto, con la unidad de medición remota desconectada, se asignaron valores constantes a las variables de temperatura y humedad en el *firmware* de la unidad de control principal. Esto permitió corroborar la correcta operación de la configuración por parte del usuario y la acción de la lógica de control con valores constantes fijados.
2. Para la segunda prueba se conectaron ambas unidades (control y medición), esta vez dejando constantes las variables de temperatura y humedad del *firmware* de la unidad de medición remota, de modo de simular una lectura constante de los valores de las variables mencionadas. Con esto pudo comprobarse la correcta transmisión de datos de extremo a extremo entre ambas unidades.
3. En la tercer y última prueba realizada, se conectó el sensor DTH11 a la unidad de medición remota, comprobándose con esto la correcta lectura de las variables medidas; así como también la comunicación, visualización y accionamiento de los relés por parte de la unidad de control principal.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas indicadas, puede decirse que el sistema de supervisión de temperatura y humedad a distancia ha funcionado correctamente, cumpliendo con las necesidades planteadas en la actividad integradora de la cual surge este trabajo.

## 4. Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado un sistema electrónico que posee dos unidades interconectadas entre sí mediante comunicación serie. La unidad de medición remota, implementa las mediciones de humedad y temperatura a través de un sensor que transmite las variables mencionadas con un protocolo de comunicación serie no estándar. La unidad de control principal recibe las variables medidas, las procesa y determina si exceden los umbrales fijados por el usuario del sistema, en caso exceso, esta unidad accione el relé correspondiente. La unidad de control principal también posee una interfaz de usuario (botonera y pantalla) que permite al usuario configurar los límites de las variables medidas y también visualizar los valores que toman las mismas en todo momento. A través de los resultados obtenidos, tanto en la simulación con Proteus® como en el prototipo experimental, se comprueba que el sistema de supervisión desarrollado opera según lo mencionado, permitiendo esto concluir que cumple con los objetivos propuestos en la actividad integradora.

A través de este trabajo fue posible diseñar, programar, construir y probar un sistema embebido como el mencionado, aplicando los saberes adquiridos durante el cursado de la asignatura Técnicas Digitales 2, como así también otros obtenidos en asignaturas de años anteriores. Con esto puede decirse que actividades como esta, resultan de suma importancia, poniendo en juego los diferentes saberes y habilidades, que serán nuestras las herramientas en el futuro profesional.

En este trabajo también fue posible detectar algunas limitaciones propias del sistema desarrollado y de las técnicas utilizadas: A) El sensor DHT11 cuenta con un rango acotado de medición, lo que resulta en un factor importante a considerar en posibles aplicaciones; B) La comunicación serie también tiene sus limitaciones de implementación en los microcontroladores utilizados y para comunicar dispositivos a larga distancia, es necesario aplicar técnicas y utilizar interfaces que permitan extender el alcance de la comunicación (al menos a varios cientos de metros). C) Una alternativa para mejorar el diseño del sistema a futuro, podría ser incorporar el accionamiento de salidas de control en el *firmware* de la unidad de medición remota, a modo tal que repliquen la función de los relés que posee la unidad de control. De esta forma, aprovechando la bidireccionalidad del bus de comunicación, el usuario podría contar con actuadores en cualquiera de los dos extremos del sistema (o bien en los dos) y así proporcionar un sistema de supervisión con mayores prestaciones al aquí propuesto.

## Referencias

- [1] «DHT11-Temperature and Humidity Sensor» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/itofb>. [Último acceso: 10-08-2021].
- [2] «Control ON/OFF o Todo/Nada» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/7xk8o>. [Último acceso: 10-08-2021].
- [3] «What is Arduino?» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/8g23c>. [Último acceso: 10-08-2021].
- [4] «Arduino UNO Rev3» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/sk5sl>. [Último acceso: 10-08-2021].  
«Atmel® ATmega328P datasheet» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/r3weh>. [Último acc.: 10-08-2021].
- [5] «Arduino MEGA 2560 Rev3» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/bqcgt>. [Último acceso: 10-08-2021].  
«Atmel® ATmega2560 datasheet» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/wt60w>. [Último acc.: 10-08-2021].
- [6] «Specification for LCD Module 1602<sup>a</sup>-1 (V1.2) datasheet» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/sdhk7>. [Último acceso: 10-08-2021].  
«Tutorial LCD» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/r2uh4>. [Último acceso: 10-08-2021].
- [7] «ME-15M datasheet» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/bdg3f>. [Último acceso: 10-08-2021].
- [8] «BC337 ON Semiconductor datasheet» [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/omkxr>. [Último acceso: 10-08-2021].

# Anexo 1: Circuito del Sistema de Supervisión de Humedad y Temperatura a Distancia.

