

Sistema inalámbrico para control y supervisión de proceso

Daniel F. Bejarano ^{a*}, Ezequiel A. Burgos ^a, Carlos A. Goyechea ^a, Juan P. Gross ^{a, b},
Guillermo A. Fernández ^{a, b}

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Universidad Nacional de Misiones (UNaM)-CONICET. Facultad de Ingeniería. Instituto de Materiales de Misiones (IMAM). Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE). Misiones, Argentina.

danielbejar42@gmail.com, burgosezequieladonai@gmail.com, nitsuga022@gmail.com, gross@fio.unam.edu.ar,
guillermo.fernandez@fio.unam.edu.ar

Resumen

En este trabajo, nos centramos en la radiocomunicación inalámbrica para establecer enlaces sin cables y transmitir información de manera eficiente. Esto se realiza a través de la utilización de transceptores en sistemas embebidos, logramos una comunicación serial efectiva entre dispositivos a corta distancia. En nuestro estudio, desarrollamos un sistema electrónico innovador que interconecta una unidad principal y una unidad remota, permitiendo la transmisión inalámbrica de variables y sensores a distancia. Además, destacamos la capacidad de configurar aspectos clave del sistema embebido, como umbrales de temperatura, y la obtención en tiempo real de las entradas y salidas de la unidad remota. Todo esto se logra mediante una comunicación fluida y sin cables entre ambas unidades, brindando flexibilidad y versatilidad en el monitoreo de temperatura y control de sistemas.

Palabras Clave – Control, Mensajería instantánea, Microcontrolador, Sistema embebido, Supervisión.

1. Introducción

El objetivo de un radio comunicador es establecer un enlace sin cables entre los puntos, transmitiendo información entre los mismos. La comunicación vía radio se realiza a través del espectro radioeléctrico cuyas propiedades son diversas dependiendo de sus bandas de frecuencia. Así tenemos bandas conocidas como baja frecuencia, media frecuencia, alta frecuencia, muy alta frecuencia, ultra alta frecuencia, etc. En cada una de ellas, el comportamiento de las ondas es diferente. Aunque se emplea la palabra radio, las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidos en esta clase de emisiones de radiofrecuencia [1]. La información se transmite modulando una portadora, es decir, transmitiendo un seno a una frecuencia determinada. En el receptor, debe detectar estas variaciones y recupera esa información. Entre las ventajas de este tipo de comunicación tenemos: elevada inmediatez para hacer llegar la información, interacción en tiempo real, simplicidad en su construcción, puede superar fácilmente las irregularidades del terreno entre el receptor y el transmisor. Entre las desventajas tenemos los obstáculos existentes en el medio pueden impedir la transmisión o dificultarla, es posible la pérdida de parte o el total de la información enviada, sensible a condiciones atmosféricas, mayor sensibilidad al ruido que una comunicación cableada. El desarrollo de este trabajo utilizamos transceptores, un transceptor es un dispositivo que cuenta con un emisor y

un receptor que comparten parte de la circuitería. Dado que determinados elementos del circuito se utilizan tanto para la transmisión como para la recepción, la comunicación que provee un transceptor solo puede ser semi-dúplex, lo que significa que pueden enviarse señales en ambos sentidos, pero no simultáneamente. Por este motivo estos tipos de dispositivos poseen ciertas desventajas con respecto a otros tipos de comunicación, como las *full dúplex* que pueden enviar y recibir señales simultáneamente [2]. A pesar de ello su uso es bastante común para comunicaciones rápidas, a corta distancia, donde el envío de información ocurre de manera secuencial y no continua simultáneamente. Como ser censado de temperatura, censado de velocidad, conteos, seteos, etc.

Ateniendo a esto el sistema propuesto propone un sistema embebido basado en microcontroladores, que permite la comunicación entre una unidad central y una unidad remota de censado. la unidad remota posee dos sensores de temperatura LM35 [5], con sus respectivas adaptaciones de impedancia, y 2 entradas discretas tipos (ON/OFF) , así como 2 salidas que comandan 2 relés dispuestos a ser usado para propósito general .La unidad principal cuenta con un display LCD-1602A [10] para la visualización de las temperaturas medidas por la unidad remota, así como el estado de las entradas y salidas de unidad remota y 4 botones con el fin de que el usuario pueda interactuar de forma sencilla con todo el sistema. Tanto la unidad principal y la unidad remota fueron desarrollados en base al microcontrolador ATMEGA2560 [9]. La intercomunicación entre estos dos tipos de unidades es realizada mediante el protocolo de comunicación serie denominado SPI (*Serial Peripheral Interface*). Las características principales de este protocolo de comunicación es que es bidireccional full-dúplex, donde tenemos un dispositivo maestro y uno o más esclavos; además, cada dispositivo posee un hardware controlador que maneja el intercambio de mensajes. Tanto el maestro como el esclavo pueden enviar y recibir información uno del otro, manteniendo una constante comunicación en todo momento. Ambos sistemas cuentan con el mismo transceptor NRFL01 [11], cuyas características más importantes son su bajo consumo, conexionado sencillo, buena compatibilidad con Arduino, es alimentado con 3,3V, permite entradas digitales de hasta 5 V sin necesidad de ningún convertor de niveles, funciona en el rango de los 2,4 GHz, control de datos mediante el bus SPI y posee un pin IRQ destinado a la interrupción por recepción.

En el trabajo aquí presentado, si bien tiene por objetivo intercomunicar dos dispositivos de manera inalámbrica, su desarrollo en el marco de la asignatura Técnicas Digitales 2 de la carrera de Ingeniería Electrónica, está orientado a la integración de saberes relacionado con el diseño e implementación de sistemas embebidos basados en microcontroladores que son abordados en esta asignatura. A continuación, en el desarrollo de este artículo, inicialmente es presentada la etapa de diseño del sistema propuesto, donde se explican cuestiones relacionadas con protocolo de comunicación utilizado, el circuito y el programa de cada parte que compone al sistema. Posteriormente se muestran los resultados, donde se explica la operación del menú de funciones que posee el sistema, como así también se presentan las placas desarrolladas para este. Finalmente se expresan las conclusiones obtenidas con el desarrollo del trabajo.

2. Diseño del circuito propuesto

El circuito propuesto consta de dos unidades, la unidad remota se encarga de transformar y adaptar la señal medida por 2 sensores de temperatura, 2 entradas y 2 salidas digitales que se encargan de activar o desactivar 2 relés a través de 2 drivers. Además de ello, recibe información de la unidad principal a través un transceptor NRF24L01 [11] del cual se obtiene la información de valores de temperaturas. El valor de temperatura 1 sirve para definir un umbral (de 0°C a 150°C), el cual superando dicho valor se activa el relé correspondiente a través de salida digital correspondiente. Esta unidad, además de recibir dicha información, envía datos a la unidad principal con información sobre el estado de sus salidas, entradas y valores de temperatura censados en ella. Estos datos son actualizados y enviados cada cierto tiempo.

Por otro lado, la unidad principal se encarga de configurar los valores umbrales de temperatura 1 y 2, y enviarlos a la unidad remota. Esta configuración se realiza a través de unos pulsadores que son encargados de realizar la comunicación entre el usuario y el sistema embebido y son reenviados cada vez que se modifica un valor del umbral de temperatura 1 y 2. Además de ello posee un display LCD-1602A (dos filas de dieciséis caracteres) [10], donde se puede observar el valor en tiempo real de las temperaturas 1 y 2 censadas por la unidad remota y el estado de sus entradas y salidas digitales. La información y recepción de los valores de umbrales establecidos por el usuario también se realiza mediante un transceptor NRF24L01 [11].

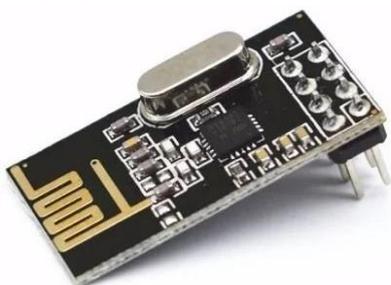


Fig. 1. Transceptor NRF24L01.

La comunicación entre la unidad principal y la unidad remota usamos el transceptor NRF24L01 mostrado en la Fig. 1, usando el protocolo de comunicación SPI (*Serial Peripheral Interface*, líneas SCK, MOSI, MISO y CS) con un tipo de comunicación semi-duplex operando en la banda de 2,4-2,5 GHz con un alcance máximo de 5 metros. Posee una alimentación de 3,3 V con un consumo de 12,3 mA [11]. Este transceptor permite la comunicación entre la unidad principal (encargada de la configuración y visualización de las variables de temperatura, entradas y salida digitales) y la unidad remota (encargada de medir la señal, adaptarla y convertirla y enviarla a la unidad principal).

2.1 Circuito de la Unidad Principal

Debido a las numerosas librerías de software que posee de soporte y a la disponibilidad, el desarrollo de la unidad principal está basado en la placa Arduino MEGA que posee el microcontrolador de 8 bits ATMEGA 2560 [9]. El circuito principal consta de un display LCD-

1602A, que permite al usuario visualizar la configuración deseada para el umbral de temperatura, la temperatura actual medida por la unidad remota y el estado de las entradas digitales y de los relés de la unidad remota, junto al display tenemos un preset que nos permite calibrar el contraste del display para que la visualización sea la correcta. Además de ello, posee 4 pulsadores donde el pulsador 1 permite entrar a la sección de configuración, el pulsador 2 permite la salida la sección de configuración. El pulsador 3 permite elegir la configuración del umbral de temperatura 1 y el pulsador 4 permite la selección de la configuración del umbral de temperatura 2. Dentro de cada configuración de temperatura, los mismos pulsadores 3 y 4 permiten el aumento del valor de temperatura o la disminución del mismo. La Fig. 2 muestra el esquema del circuito diseñado para esta unidad.

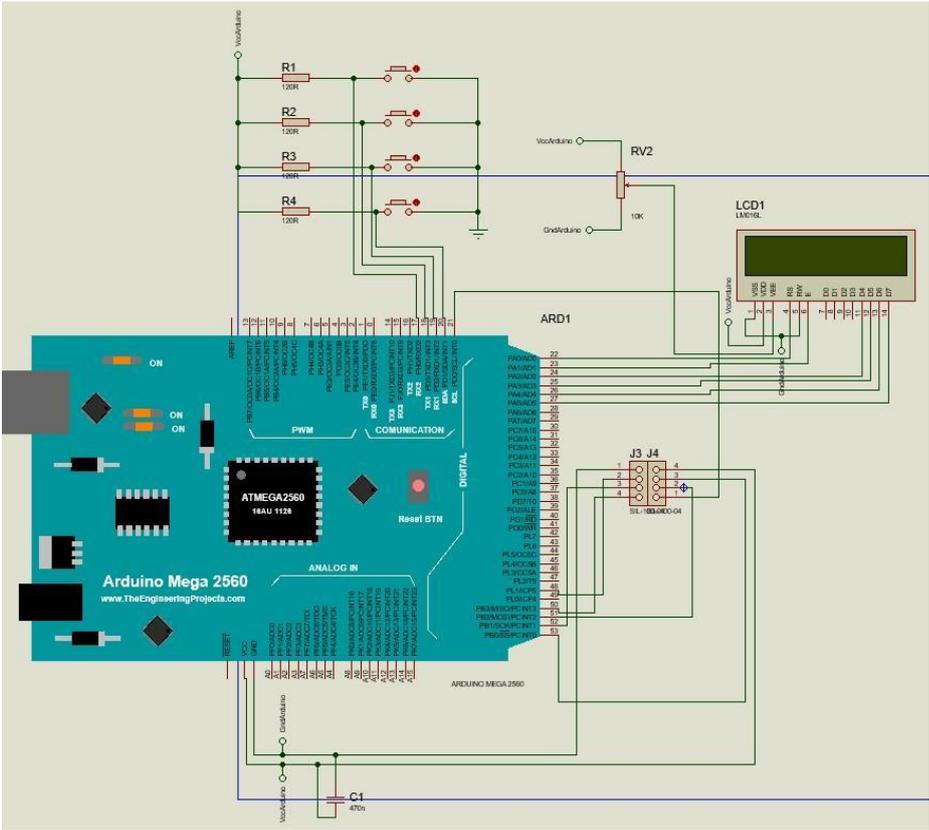


Fig. 2. Esquema eléctrico de la Unidad Principal.

En la Fig. 2 la placa Arduino MEGA se conecta al circuito a través de una tira de pines macho/hembra, líneas a los pines correspondientes del Arduino para el correcto funcionamiento del transceptor NRF24L01 [11]; GND (pin GND), VIN (pin VCC 3V3), SCK (pin 52/PB1), MOSI (pin 51/PB2), MISO (50/P), SCK (pin 52) y CSN (pin 53), CE (pin 48) e IRQ (pin 21/PD0). En cambio, la línea INT de los pulsadores tienen que unirse al pin 2 (PD1/INT1) para el pulsador 1, al pin (PD2/INT2) para el pulsador 2, al pin (PD3/INT3) para el pulsador 3 y al pin 17 (PH0) para el pulsador 4. La unidad principal, así como el Arduino de la misma es alimentado a través de una fuente de alimentación de 12 V.

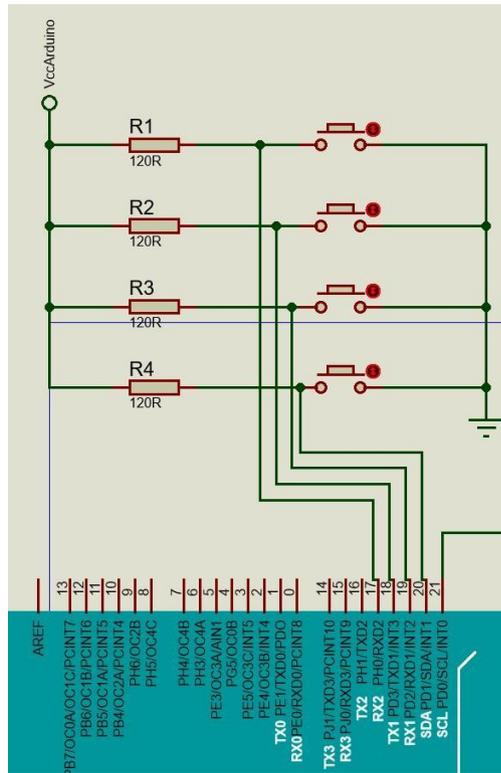


Fig. 3. Esquema eléctrico Unidad Pulsadores.

Las resistencias de *pull-up* de los pulsadores son obtenida mediante las ec. (1) y (2):

$$R_{pull-up_max} < \frac{V_{IHmin}(AT2560)}{I_{IHmax}(AT2560)} \quad (1)$$

$$P_R = 1,5 \cdot (I_R)^2 \cdot R \quad (2)$$

siendo $V_{IHmin}(AT2560) = 0,6 \text{ V}$ y $I_{IHmax}(AT2560) = 1 \text{ uA}$, se obtiene una $R_{pull-up_max} = 600 \text{ k}\Omega$. Por lo cual se adoptan resistencias comerciales $R_{pull-up} = 10 \text{ k}\Omega$ de 1/8 W.

2.2 Programa de la Unidad Principal:

El programa que ejecuta la unidad maestra fue desarrollado en lenguaje C, utilizando el Entorno de Desarrollo Microchip Studio para las placas Arduino. En la Fig.4 se muestra el diagrama de flujo de la unidad principal donde puede notarse que el programa inicia con el menú principal, donde puede observarse las temperaturas 1 y 2, así como el estado de las entradas digitales 1 y 2 y de las salidas digitales 1 y 2. Estos datos fueron enviados previamente por la unidad remota y son mostrados en el display. Con el pulsador 1 se puede acceder al menú de temperatura, presionando el pulsador 3 y 4 se puede acceder al rango de las temperaturas 1 o 2 respectivamente. Dentro de este modo, se puede presionar nuevamente el pulsador 3 para aumentar el valor de la temperatura o el pulsador 4 para

disminuir el valor. El diagrama de flujo del menú de selección se muestra en la Fig.5 y el diagrama de flujo de las temperaturas 1 y 2 se muestra en la Fig.6.

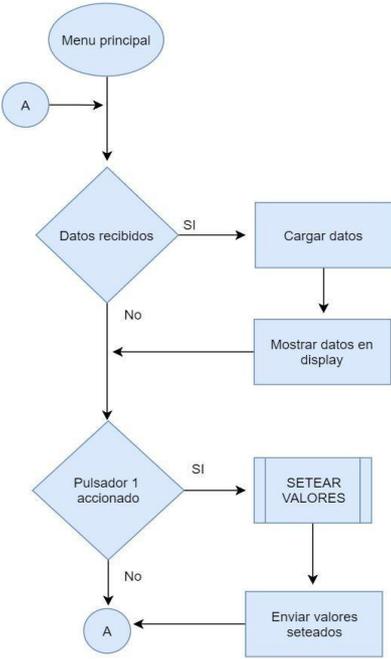


Fig. 4. Diagrama de flujo del menú principal.

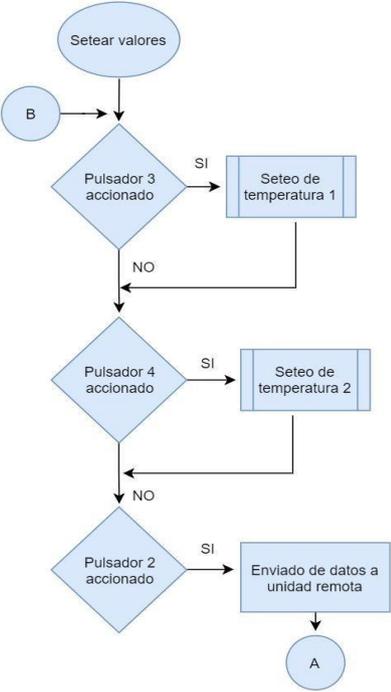


Fig. 5. Diagrama de flujo del menú selección.

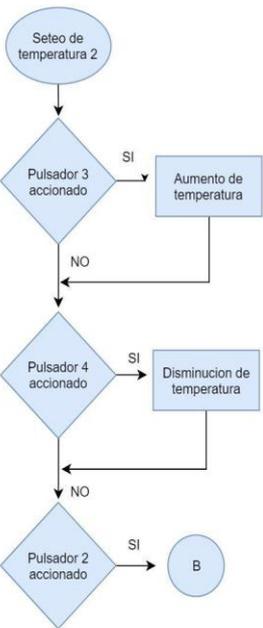
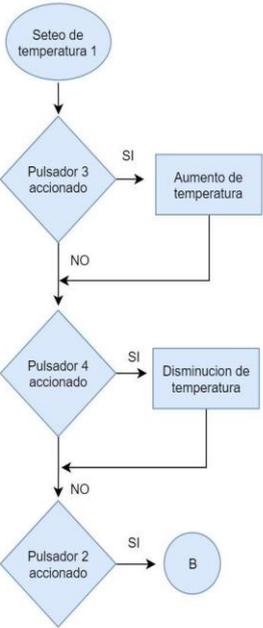


Fig. 6. Diagrama de flujo del menú seteo.

2.3 Circuito de la Unidad Remota

El circuito de la unidad remota también está basado en la placa Arduino MEGA que posee el microcontrolador de 8 bits ATMEGA 2560 [9]. La unidad recibe 2 valores analógicos provenientes de 2 sensores de temperatura LM35 de las cuales las señales provenientes de estos sensores son adaptadas un voltaje mayor mediante un integrado LM324 que opera con 12 V y que posee 4 amplificadores operaciones dentro suyo [8] (2 para cada sensor) para después ser convertido en valores digitales. Los valores digitales se obtienen a través de los ADC del Arduino (ADC0 y ADC1 respectivamente [9]), donde sus entradas (pin 0/PF0 y pin 1/PF1) están conectadas a los pines 8 y 14 del LM324 [8]. Además de ello, contamos con 2 entradas digitales que operan en un rango de 10 a 20V para su estado alto y de 0 a 9V para sus estados bajos, estas entradas son opto acopladas mediante un 4N26 [4], junto con unos diodos Zener y resistencias limitadoras, el emisor del optoacoplador es conectado a las entradas digitales del Arduino PE0 y PE1 junto con una resistencia de *pull-down*. Además de ello tiene 2 salidas digitales PE4 y PE5 que están conectados a un transistor que activa o desactiva un relé de 12V (OMRON G5CE-1) [7], junto con su led indicador de estado y diodo de descarga del relé. Debido a limitación de corriente por cada pin del Arduino y que los relés operan con 12 voltios, las salidas digitales del Arduino están conectadas un driver, que en este caso es un transistor NPN que se encarga de activar y desactivar el relé correspondiente a su salida.

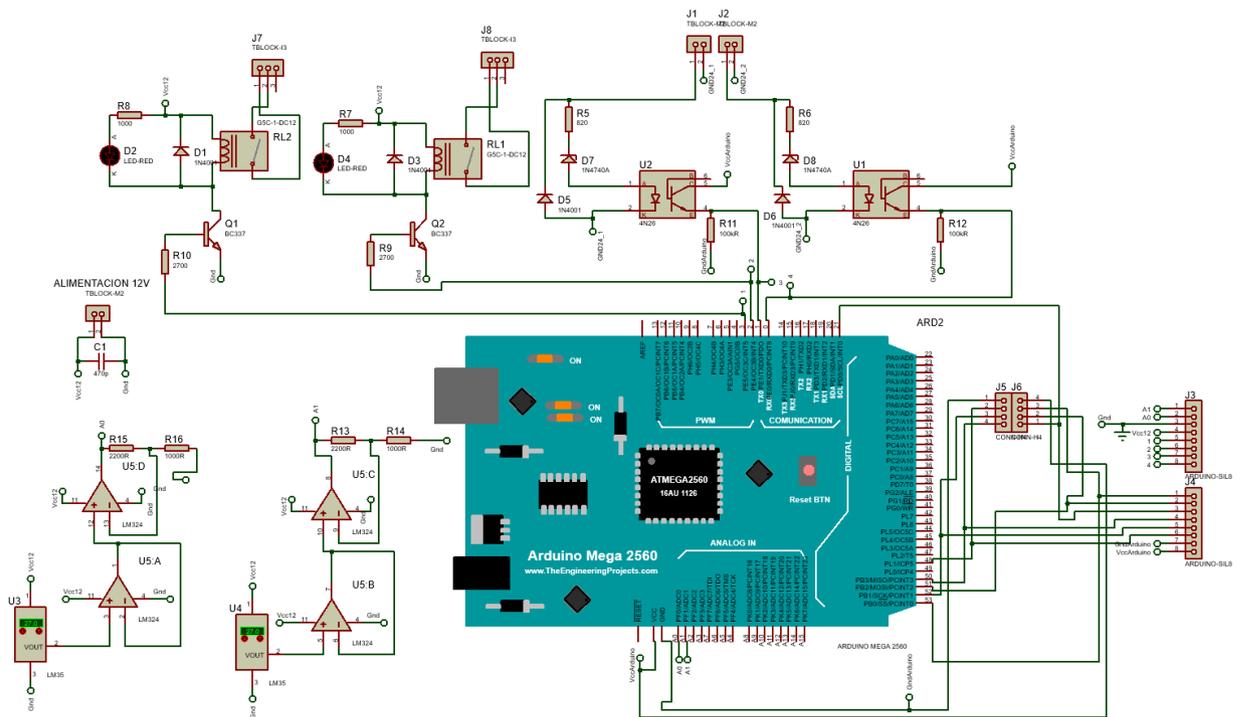


Fig. 7. Esquema eléctrico de la Unidad Remota.

2.4 Diseño de la etapa de potencia para salidas digitales

Según se ha mencionado, el sistema desarrollado cuenta con dos salidas tipo relé para comandar cargas de CC o CA. Los relés seleccionados poseen una bobina de 12 V / 16 mA y son comandados mediante transistores por las salidas correspondientes del ATMEGA 2560, como se muestra en la Fig. 7. Para la selección de estos transistores, se tiene en cuenta el valor de tensión de operación del relé $V_{Relé} = 12V$ y con un factor de seguridad de 2, a partir de la ec. (3) queda determinado que el valor de tensión colector emisor máxima a soportar por el mismo debe ser $V_{CEOmax} = 24 V$. La corriente del colector es obtenida mediante la ec. (4), donde la corriente de la bobina del relé es $I_{Relé} = 16 mA$ y la corriente del led indicador $I_{LED} = 15 mA$, dando como resultado una $I_{Cmax} = 31 mA$. Con estos datos se selecciona un transistor NPN BC548 [6], cuyas características son: $V_{CEOmax} = 30 V$, $I_{Cmax} = 100 mA$, $H_{FEmin} = 110$, $V_{CEsat} = 0,7 V$, $V_{BEon} = 1 V$ y $P_{Dmax} = 625 mW$.

$$V_{CEOmax} = 2 \cdot V_{CEO} \quad (3)$$

$$I_{Cmax} = 1,5 \cdot (I_{Relé} + I_{LED}) \quad (4)$$

Para el cálculo de las resistencias limitadoras de los leds indicadores de estado de cada relé, se utiliza la ec. (5). Con $V_{CC} = 12 V$, $V_{LED} = 2V$ y $I_{LED} = 15 mA$ se obtiene $R_{LED} = 620 \Omega$, adoptándose un valor comercial de $R_{LED} = 1 k\Omega$ con una potencia de 1/4W, esta última obtenida con la ec. (2).

$$R_{LED} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (5)$$

El cálculo de la resistencia limitadora de la base del transistor es realizado utilizando las ec. (6) y (7). Siendo el voltaje de salida en alto del ATMEGA 2560 $V_{OH(AT2560)} = 4,2 V$ [9], para una corriente de base $I_B = 1,4 mA$ resulta una resistencia comercial $R_B = 2,2 k\Omega$ de 1/8W.

$$I_B = 5 \cdot \frac{I_C}{H_{FEmin}} = 5 \cdot \frac{(I_{Relé} + I_{LED})}{H_{FEmin}} \quad (6)$$

$$R_B = \frac{V_{OH(AT2560)} - V_{BEon}}{I_B} \quad (7)$$

2.5 Diseño del circuito de las entradas digitales

El circuito desarrollado también cuenta con dos entradas digitales opto acopladas que interpretan un estado lógico ALTO cuando el voltaje de entrada se encuentra entre 10 V y 24 V. Para esto, cada circuito tiene en su entrada un diodo Zener de 8,2 V / 0,5 W (como lo muestra la Fig. 7) para elevar el voltaje umbral de conducción en diodo LED del optoacoplador. Esto significa que todos los valores menores a este umbral serán considerados por el microcontrolador como un nivel lógico bajo,

considerando la aislación galvánica proporcionada por el optoacoplador 4N26 para proteger al microcontrolador de sobre tensiones indeseadas. El diodo Zener seleccionado es de $V_Z = 8,2 \text{ V}$, teniendo en cuenta la caída de tensión $V_F = 1,5 \text{ V}$ en el LED del optoacoplador [2]. De esta forma, considerando ambas caídas se obtiene un voltaje umbral de $9,7 \text{ V}$, por lo cual con una tensión de entrada de 10V se conseguirá estado lógico ALTO en la entrada del microcontrolador.

Los circuitos de entrada digital también cuentan con una protección por inversión de polaridad en el voltaje de entrada. Esto es implementado colocando un diodo 1N4007 en antiparalelo como puede verse en la Fig. 7.

El valor de la resistencia limitadora de corriente para el LED de entrada del optoacoplador 4N26 es establecido por la corriente mínima del diodo Zener. Siendo este diodo de una potencia máxima $P_Z = 0,5 \text{ W}$, la corriente Zener máxima es de $I_{Z_{\max}} = 60,9 \text{ mA}$ con una temperatura de trabajo de 70°C . Por lo que tomando un valor mínimo del 10 % la corriente de polarización del diodo resulta $I_{Z_{\min}} = 6 \text{ mA}$. De esta forma, la resistencia de entrada del optoacoplador es dimensionada para operar con un valor de corriente del 30 % de $I_{Z_{\max}}$ siendo $I_{ZT} = 18 \text{ mA}$. En consecuencia, la resistencia en serie con el diodo Zener y el LED del optoacoplador resulta $R_Z = 794 \Omega$, adoptándose un valor comercial $R_Z = 820\Omega / 1/4\text{W}$.

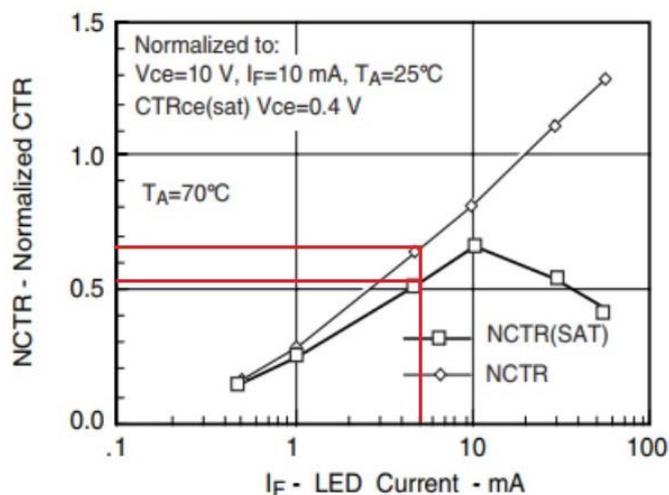


Fig. 8. Gráfica CTR- I_F para el optoacoplador 4N26.

Para verificar el funcionamiento del optoacoplador con el valor de R_Z obtenido, se comprueba la condición indicada en la ec. (8) con los datos obtenidos de la gráfica mostrada en la Fig. 8.

$$I_F > \frac{I_C}{CTR \cdot \alpha_{ST} \cdot \alpha_E \cdot \alpha_{DISP}} \quad (8)$$

Siendo en este caso $CTR = 0,65$, $\alpha_{ST} = 0,55$, $\alpha_E = 0,8$, $\alpha_{DISP} = 0,75$, $I_C = 1\text{mA}$, con un valor de $I_F = 5\text{mA}$.

2.6 Acondicionador de señal del LM35

Debido a que el sensor de temperatura LM35 proporciona una tensión de salida de 0 V a 1,5 V en su rango de medición de 0 °C a 150 °C, para adecuar esta señal se hace pasar la misma a través de un amplificador seguidor de tensión y amplificador no inversor con el fin de elevar la tensión de salida del sensor y así el microcontrolador puede operar con una señal analógica en un rango de 0V a 5V. Esto se logra con el circuito mostrado en la Fig. 9.

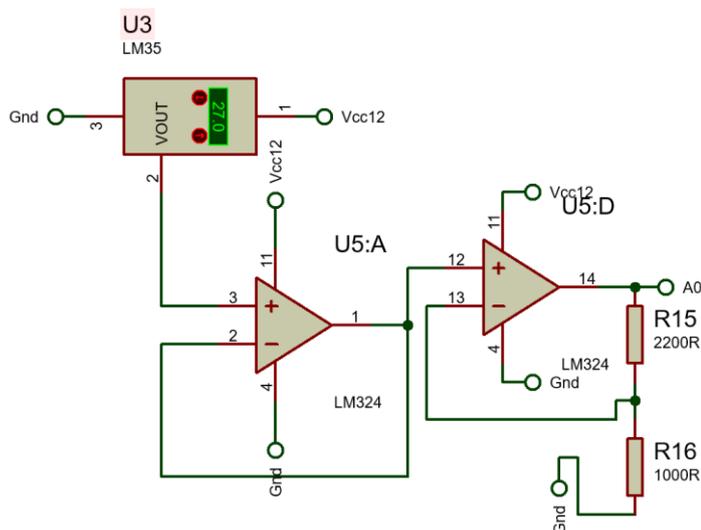


Fig. 9. Circuito acondicionador de señal analógica del sensor de temperatura LM35.

Para el cálculo de los resistores indicados en el circuito de la Fig. 9, se utiliza la ec. (9).

$$R_2 = [(V_{out}/V_{in}) - 1] \cdot R_1 \quad (9)$$

Considerando $R_1 = 1000 \Omega$, $V_{out} = 5 \text{ V}$ y $V_{in} = 1,5 \text{ V}$ resulta $R_2 = 2333 \Omega$, por lo cual es adoptado el valor comercial $R_2 = 2200 / 1/4 \text{ W}$.

2.7 Programa de la Unidad Remota

El programa que ejecuta la unidad remota fue desarrollado en lenguaje C, utilizando el Entorno de Desarrollo Microchip Studio para los microcontroladores ATMEGA 2560 que posee la placa de desarrollo Arduino MEGA. En la Fig. 10 puede observarse el diagrama de flujo del menú “Principal” donde se llama cada 1 segundo aproximadamente a la función “Sensado” que realiza la medición de las temperaturas a partir de los sensores LM35 y sus correspondientes circuitos acondicionadores de señal (basados en el amplificador operacional LM324 en configuración de seguidor de tensión seguida de un amplificador no inversor [8]), como así también la lectura de los estados de las entradas digitales. El periodo de medición mencionado fue establecido considerando que las variables medidas cambian de valor en forma lenta. Además de ello se realiza la comparación del valor sensado con el

valor del umbral previamente establecido por el usuario en la unidad principal, cabe aclarar que por defecto inicializa los valores de umbrales en 150 °C. En caso de recibir información por parte de la unidad principal se recibirá un *string* de 6, donde una función carga los valores de umbrales de temperatura 1 y 2 para después ser comparados con los valores medidos por los sensores. Si un valor de temperatura 1 o 2 obtenidos del LM35 es mayor al valor de umbral de temperatura 1 o 2, se enciende el relé correspondiente. Estos datos son enviados a la unidad principal a través del transceptor NRF24L01, cada 4 segundos aproximadamente, este tiempo fue establecido debido al tipo de transceptor utilizado que opera en modo semi-duplex ya mencionado anteriormente.

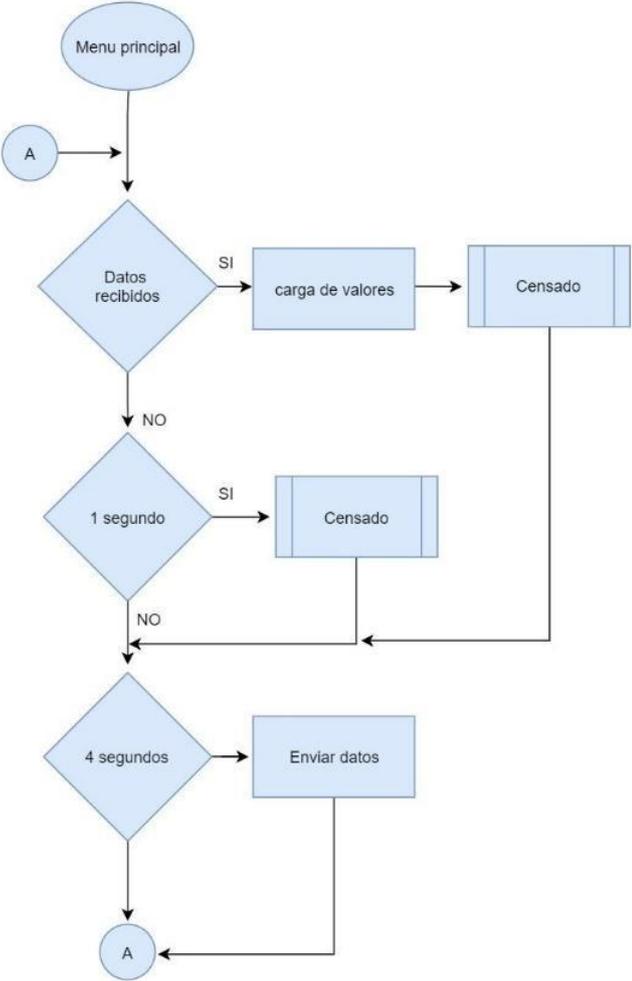


Fig. 10. Diagrama de flujo del menú “Principal”.

El dato enviado es un *string* de 10 valores, donde los valores 1, 2 y 3 corresponden a los valores sensados de temperatura 1, siendo el valor 1 la centena, el valor 2 la decena y el valor 3 la unidad, los valores del *string* 4, 5 y 6 corresponden a los valores sensados de temperatura 2, siendo el valor 4 la centena, el valor 5 la decena y el valor 6 la unidad. Los valores del *string* 7 y 8 corresponde al estado de los relés 1 y 2 y los últimos 2 valores del *string* (9 y 10) corresponden al estado de las entradas

digitales. Esta cadena de caracteres es procesada en la unidad principal para después ser mostrada en el display LCD sensado.

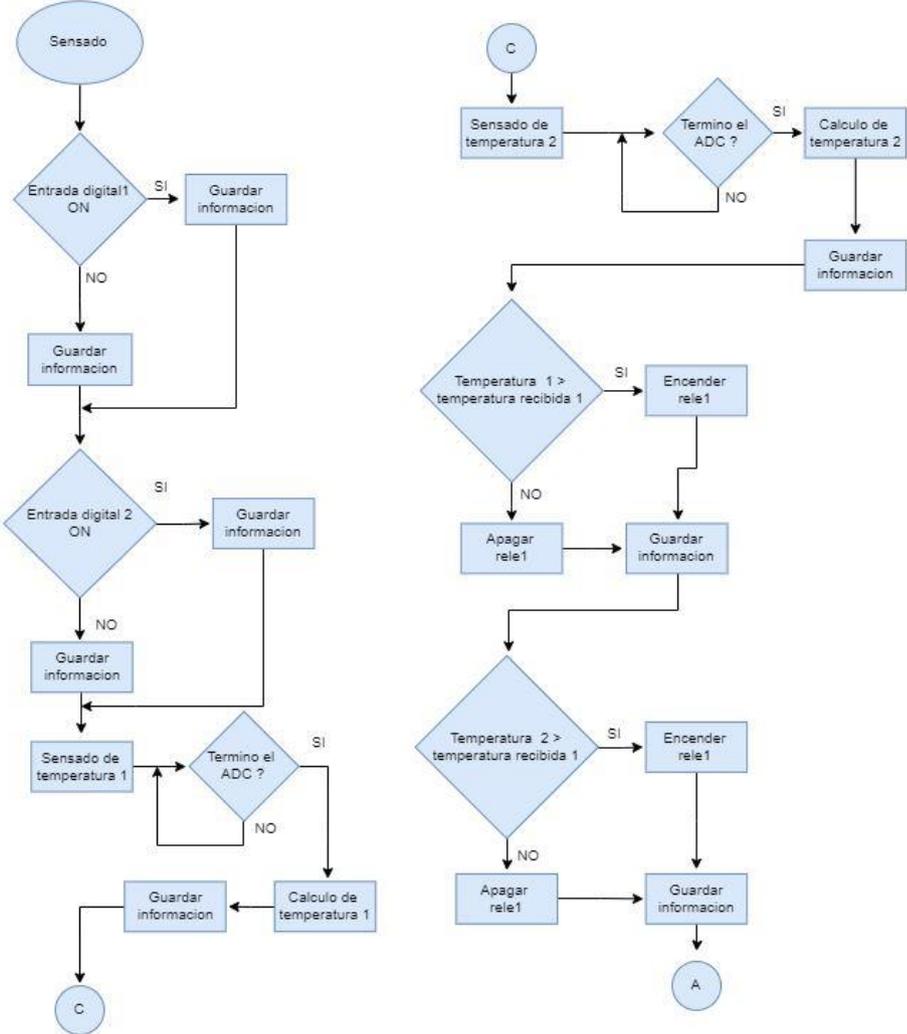


Fig. 11. Diagrama de flujo de la función “Sensado”.

3. Resultados

Para la interacción con el sistema se ha desarrollado un menú, mostrado en la Fig. 4, con pulsadores útiles para la interacción del usuario con la unidad principal. La Fig. 5. muestra el diagrama a través del cual puede explicarse la operación del menú principal y en las Fig. 6. se observa de los menús secundarios, encargado de la selección de la temperatura a setear. Además de ello se observa como el sistema queda en un ciclo constante esperando a recibir información por primera vez, una vez que esto sucede el programa se ejecuta siguiendo las instrucciones mostradas en el diagrama de flujo. El funcionamiento del programa de la unidad remota se muestra en la Fig. 10, donde puede notarse el proceso llevado a cabo por el programa para el sensado de las entradas digitales, el censado de las

temperaturas, la activación o desactivación de los relés, el recibimiento de los valores dados por la unidad principal y él envió de datos para ser mostrado en la unidad principal. En cuanto al diseño del circuito impreso (PCB) de las placas que poseen las unidades remota y principal, fue realizado con el software Proteus en su versión 8.9.2. Luego de realizar el diseño mencionado, para la construcción del mismo fue impreso sobre papel fotográfico con una impresora láser. La impresión fue transferida las placas de cobre virgen de 10cmx10cm aplicando calor mediante una plancha; se retiró el papel fotográfico y la placa fue introducida en cloruro férrico para realizar el grabado del circuito. Una vez finalizado esto, cada placa fue limpiada con jabón neutro y virulana para la extracción de partículas de tinta y ácido que hayan quedado. Luego se procedió a colocar flux en la placa, para posteriormente perforar con una mecha de 1mm, montar y soldar todos los componentes utilizados. Las Fig. 12 y Fig.13 se muestra la parte posterior donde se colocan los componentes antes mencionados y en las Fig. 14 y 15 se presenta la parte inferior obtenida mediante los procesos de diseño.

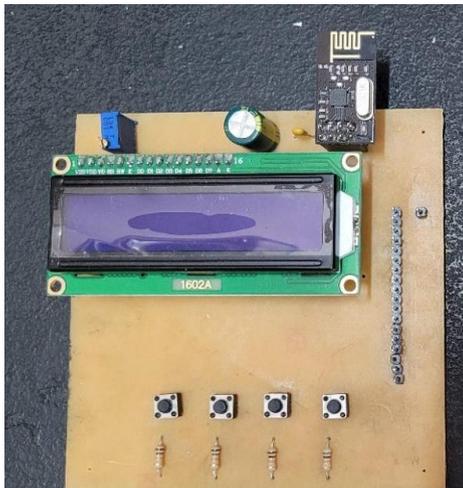


Fig. 12. Placa de la Unidad Principal.

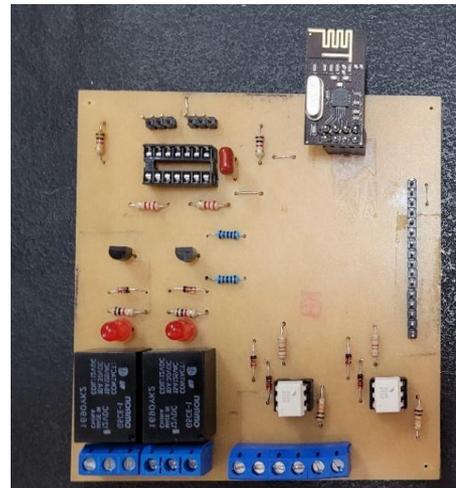


Fig. 13. Placa de la Unidad Remota.

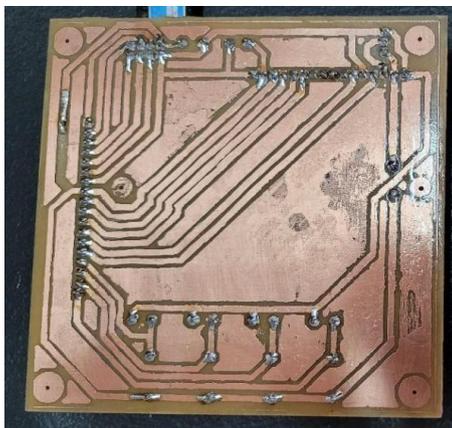


Fig. 14. PCB de la placa de la Unidad Principal.

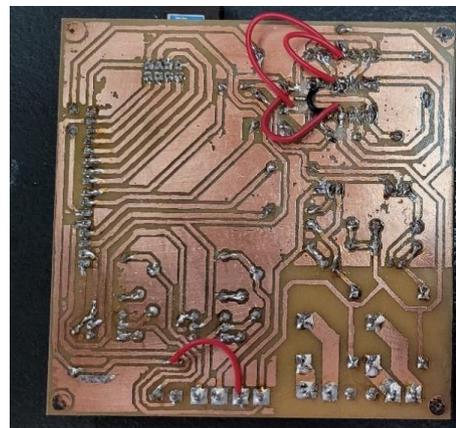


Fig. 15. PCB de la placa de la Unidad Remota.

Una vez finalizada la programación y construcción del sistema, se realizó la comprobación de la intercomunicación entre la unidad principal y la unidad remota como se muestra en la Fig. 16,

logrando con éxito comunicarse entre ellas. Sin embargo, se debió realizar un arreglo de conexiones en la unidad remota (que se muestra en la Fig. 15) debido a un problema de sobre corriente en el circuito. Después de esto se volvió a testear el sistema reacondicionado para comprobar su correcto funcionamiento, el cual fue exitoso.

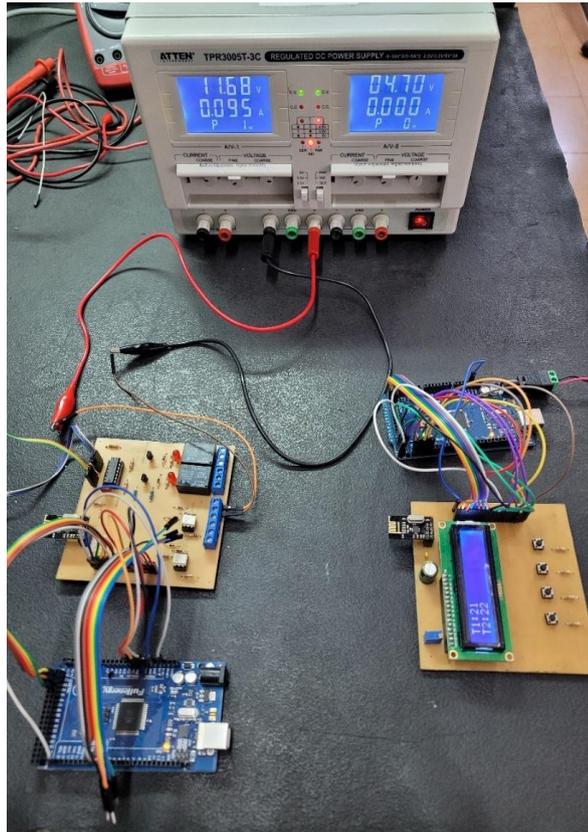


Fig. 16. Prueba de comunicación entre ambas unidades.

4. Conclusiones

Mediante este trabajo se logró establecer con éxito la comunicación bidireccional entre la unidad remota y principal. Pudiendo esta última recibir con éxito información en tiempo real del estado de las entradas digitales, estado de los relés y temperatura de ambos sensores. Para lograr esto hubo que interiorizarse con el funcionamiento del protocolo de comunicación SPI, así como el uso de las librerías asociadas al transceptor NRF24L01, comprendiendo su funcionamiento y las ventajas que este ofrece. Por otro lado el desarrollo tanto del software asociado al control de las unidades así como el desarrollo del conexionado de ambas unidades permitió poner en juegos conocimientos relacionados con circuitos de polarización de leds, optoacopladores, transistores y relés, como así también el diseño de circuitos con microcontroladores y la programación asociada a estos, demostrando así que se cumplieron con las especificaciones requeridas por la consigna de la actividad

integradora propuesta en la asignatura, aplicando saberes propios como otros adquiridos en asignaturas previas.

Ambos sistemas fueron diseñados para el uso mutuo y fueron diseñados para áreas en los cuales son necesarias el control térmico a distancia, así como la utilización de dispositivos que requieran encenderse debido a los valores térmicos obtenidos o simplemente para el monitoreo de valores y control de entrada o salida.

Este proyecto permitió la observación, análisis, funcionamiento, conexasión y uso de dispositivos de transmisión por radio frecuencias, donde sus aplicaciones son muy variadas en la industria, en el uso hogareño o en cualquier situación donde se requiera comunicar dispositivos entre sí. Su uso puede ser aplicado para transmisiones de datos, manejo de dispositivos, control a distancia, etc. Dando como resultado una amplia variedad de aplicaciones ya antes mencionadas. Para finalizar, el trabajo requirió una investigación más profunda de los sistemas de comunicaciones basados en microcontroladores y dispositivos externos, así como una observación más minuciosa de la programación asociada a estos y el uso de librerías realizadas por terceros, pero adaptadas al controlador utilizado.

Referencias

- [1] Wyne Tomasi - Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4 Edición. Editorial Pearson (2013)
- [2] Sistema de Comunicaciones – Jordi Mayné, Silica, 2009.
- [3] Robert L Boylestad-Louis Nashelsky. Teoría de los circuitos y dispositivos electrónicos. Editorial Pearson Educación, Mexico, 2009.
- [4] Hoja de datos optoacoplador 4N26. Enlace: <https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>
- [5] Hoja de datos de LM35: Enlace: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1188696/TGS/LM35.html>
- [6] Hoja de datos de BC337: Enlace: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1173894/FS/BC337.html>
- [7] Hoja de datos Relé:
Enlace: <https://www.jakelectronics.com/pdf/datasheets/omronelectronicssincemcdiv-g5q1adc9-datasheets-2071?product=omronelectronicssincemcdiv-g5q1dc24-868243>
- [8] Hoja de datos Integrado:
Enlace: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/17871/PHILIPS/LM324.html>.
- [9] Hoja de datos Arduino Mega 2560.
Enlace: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/897466/ATMEL/MEGA2560.html>
- [10] Hoja de datos LCD: Enlace: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/519148/CA/LCD-1602A/1>.
- [11] Hoja de datos Tranceptor NRF24L01:
Enlace: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF24L01P_PS_v1.0.pdf
- [12] Hoja del diodo zener 1N4740:
Enlace: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25749/SURGE/1N4740.html>