



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

**“SISTEMA DE MONITOREO REMOTO TCP/IP
DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA
CENTROS DE DATOS DE TICs”**

Tesina presentada para obtener el título de:

LICENCIADO EN ELECTRÓNICA

Presenta:

ALEJANDRO OSBALDO RUANOVA MEJÍA

Asesor:

M.C. RICARDO ÁLVAREZ GONZÁLEZ



Puebla, Pue. Noviembre 2023

DEDICATORIA

A mi esposa, que ha sido mi compañera de vida en momentos tan grandiosos como difíciles, así como a mis hijos Ale y Ángel, quienes representan mi legado y el porqué de mi existencia.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres†, quienes con su ejemplo y formación representan la
esencia de mi ser.

A mis hermanos Carlos, Norma y Oscar por ser lo que son, ni más
ni menos.

A Don Carlos Otto Vázquez García†, quién fue un tutor y apoyo en
el desarrollo de mi vida educativa y profesional.

A Miguel Martínez Arroyo quien, con su confianza y apoyo dentro
de la Administración General de Cómputo del INAOE me ha
permitido realizar varios proyectos como el que presento en esta
Tesina.

A todas las personas que de manera consciente o inconscientemente
ayudaron a que terminara este trabajo.

CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
CONTENIDO.....	4
CAPÍTULO 1	8
INTRODUCCIÓN	8
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 JUSTIFICACIÓN	10
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL	11
1.6 DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROYECTO	14
CAPÍTULO 2	15
SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	15
2.1 DEFINICIÓN DE UN SENSOR	15
2.2 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	15
2.3 PROCESO GENERAL DE COMUNICACIÓN PARA EL DHT11/22	17
2.3.1 <i>Sensor de temperatura y humedad DHT11</i>	18
2.3.2 <i>Especificaciones Técnicas DHT11</i>	19
2.3.3 <i>Pines de conexión para el sensor DHT11</i>	20
2.3.4 <i>Sensor de temperatura y humedad DHT22</i>	20

2.3.5 Especificaciones técnicas DHT22	21
2.3.6 Pines de conexión para el sensor DHT22:	22
2.4 DISEÑO DE LA TARJETA ELECTRÓNICA PARA EL SENSOR	22
CAPÍTULO 3	25
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PCB	25
3.1 INTRODUCCIÓN A LOS MICROCONTROLADORES.....	25
3.2 MICROCONTROLADOR ATMEGA328P.....	27
3.2.1 Características del Microcontrolador Atmel ATmega328P [5]:.....	29
3.2.2 Pines de conexión del Microcontrolador Atmel ATmega328P.....	30
3.3 PANTALLA LCD 16X2	30
3.3.1 Especificaciones técnicas del display LCD 16X2.....	31
3.3.2 Conexión de terminales del Display LCD 16x2.....	32
3.4 MÓDULO DE COMUNICACIÓN	33
3.4.1 Tarjeta Ethernet ENC28J60.....	34
3.4.2 Datos Técnicos para la tarjeta ENC28J60.....	35
3.4.3 Comunicación por red TCP/IP.....	35
3.5 TARJETA DE CONTROL PRINCIPAL	37
3.5.1 Diseño.....	37
3.5.2 Etapa de alimentación.....	40
3.5.3 Conexión del microcontrolador ATmega328P.....	41
3.5.4 Puerto USB para programación y datos del sensor.....	43
3.5.5 Conexión del Display LCD 16X2.....	44
3.5.6 Conexión del módulo de comunicación por red.....	46
3.5.7 Zumbador	47
CAPÍTULO 4	51
DISEÑO DEL MONTAJE EN RACK	51

4.1 CENTRO DE DATOS	51
4.1.1 Requisitos de un Centro de Procesamiento de Datos	51
4.1.2 Niveles de los Centros de Datos	53
4.2 NORMA ICREA [4]	54
4.2.1 Climatización.....	55
4.2.2 Norma ASHRAE TC 9.9.....	56
4.2.2 Monitoreo	57
4.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO PARA MONTAJE EN RACK.....	58
4.4 PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR.....	61
4.4.1 Diagrama de flujo.....	61
4.4.2. Descripción de las etapas de programación del controlador ATmega328P	62
CAPÍTULO 5	65
PANEL DE MONITOREO	65
5.1 BASE DE DATOS CON MYSQL [3]	66
5.2 SCRIPT DE REGISTRO DE DATOS.....	67
5.3 PANEL O TABLERO DE MONITOREO CON HTML-PHP	69
5.3.1 Gráfico de barras	71
5.3.2 Gráfico lineal.....	71
5.3.3 Gráfico Gauge.....	72
5.4 ALARMAS	73
5.4.1 Alarma auditiva	73
5.4.2 Alarma visual.....	74
5.4.3 Alarma por correo.....	75
CAPÍTULO 6	79
PRUEBAS Y CONCLUSIONES.....	79
6.1 PRUEBAS Y ACTUALIZACIONES	79

<i>6.1.1 Simulación en Proteus</i>	80
<i>6.1.2 Pruebas de temperatura</i>	80
<i>6.1.3 Mejoras y actualizaciones</i>	82
6.2 CONCLUSIONES	84
TABLA DE FIGURAS	87
BIBLIOGRAFÍA	90

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Desde la primera computadora electrónica construida por los ingenieros John William Mauchly y John Presper Eckert en el año de 1945-1955 llamada ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*) fue necesario contar con todo un sistema de enfriamiento para soportar un consumo de 200 KW de energía eléctrica; hoy en día, cualquier equipo de procesamiento de información requiere de un adecuado sistema de climatización que permita operar bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad establecidas por el fabricante para un mejor desempeño.

Con esta premisa, los administradores y responsables de los Centros de Procesamiento de Información y Comunicaciones se dan a la tarea, no solo de administrar los equipos, sino de poder contar en todo momento con un ambiente confiable y seguro para desempeñar adecuadamente las operaciones de su organización.

El diseño, construcción e implementación de un Centro de Datos de TIC (CDTIC), se basa en normas que permitan garantizar la alta disponibilidad de la infraestructura y la protección efectiva de los activos, donde se definen criterios de seguridad y confiabilidad asociados a la instalación eléctrica, seguridad, comunicaciones, entorno y aire acondicionado,

siendo éste último, un referente para el diseño e implementación de un “Sistema de Monitoreo Remoto” que permita atender de forma oportuna y efectiva cualquier desviación de los niveles de temperatura y humedad que pongan en riesgo la continuidad de los servicios de TIC (Tecnologías de Información y Comunicaciones). Este sistema estará operando bajo las recomendaciones de ICREA (International Computer Room Experts Association)¹ y con los niveles de temperatura y humedad para equipos en operación establecidos por la Norma ASHRAE TC 9.9 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Technical Committee).²

En el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) desde hace varios años se tuvieron diversos incidentes en los equipos y dispositivos de TIC como servidores de aplicaciones, servidores de base de datos, ruteadores, switches y otros equipos que permiten apoyar a los proyectos de las diferentes áreas del Instituto; estas interrupciones que se tuvieron en la continuidad de la operación de los equipos fueron ocasionadas por fallas eléctricas y de temperatura. Las fallas en los aires acondicionados han provocado que la temperatura de los centros de datos se incremente y después de algunas horas los equipos llegan a los límites físicos de su operación para terminar con daños tanto en las tarjetas electrónicas como en los discos duros y las fuentes de poder.

La temperatura es una de las amenazas que se deben controlar y atender ante cualquier falla que se presente y que pueda afectar a los equipos instalados en un CDTIC equipado con aire acondicionado, sobre todo si se desea cumplir con tiempos de operación superiores al 99% en los servicios instalados; es por ello que se propone desarrollar un sistema de monitoreo para temperatura y humedad que presente en la parte física, un dispositivo electrónico con medidas estandarizadas para ser montado como equipamiento en rack o gabinete dentro de un CDTIC

¹ Asociación Internacional de Expertos en Centros de Datos.

² Comité Técnico de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

en donde permita mostrar en tiempo real las variaciones de temperatura-humedad y, en la parte lógica, el desarrollo de una aplicación que almacene cada uno de los datos obtenidos para ser visualizados mediante gráficos lineales, de barras, área, gauge, etc. y que permita enviar un mensaje de alarma por correo electrónico para tomar una acción preventiva en caso de que se superen los niveles óptimos.

1.2 Justificación

Los equipos de cómputo y comunicaciones que operan dentro de un CDTIC demandan un nivel de climatización estable para mantener los componentes electrónicos en óptimas condiciones de trabajo y dentro de los rangos de operación que los fabricantes recomiendan. La instalación de un Sistema de Monitoreo Remoto permitirá atender de forma oportuna las fallas que se presenten con los equipos de aire acondicionado o de precisión ante cualquier cambio adverso de temperatura y humedad, cualquier nivel para estas dos variables que superen los rangos de operación aceptables activará alarmas del tipo visual, auditiva y por correo electrónico.

1.3 Objetivo General

Diseñar e implementar un dispositivo electrónico que pueda medir variaciones de temperatura y humedad con envío de datos por red TCP/IP a un sistema de monitoreo, permitiendo activar mecanismos oportunos de advertencia en caso de fallas en los equipos de enfriamiento, con los niveles recomendados por el manual de buenas prácticas ICREA que se basa en la norma ASHRAE TC 9.9 para Centros de Procesamiento de Datos y Comunicaciones.

1.4 Objetivos Específicos

- I. Diseñar y construir un circuito electrónico basado en el microcontrolador ATmega328P de Microchip.
- II. Desarrollar una consola de monitoreo (Dashboard) basada en herramientas de programación con HTML y PHP que gestione registros para base de datos con MySQL.

1.5 Descripción General

Para el desarrollo del proyecto, se pensó en construir una placa de circuito impreso (*PCB-Printed Circuit Board*) que albergue un controlador, un sensor, un dispositivo de comunicación y una pantalla LCD (*Liquid Crystal Display*) 16X2 para que muestre la información de la temperatura y la humedad, para ser enviada por comunicación TCP/IP a cualquier red LAN/WAN y almacenar cada registro en una base de datos.

Este esquema se muestra en la figura 1, donde en el primer bloque, se registran los valores de temperatura ambiente y humedad relativa³ con el módulo DHT11/22⁴ que son sensores de bajo costo y tienen una resolución de 1 a 2°C con un rango de operación de 0°C a 100°C para la temperatura, y resolución de 1% y un rango de trabajo desde el 20% hasta el 90% de humedad relativa, se caracteriza por enviar una señal digital calibrada que asegura una alta calidad y una fiabilidad a largo plazo.

³ La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura, 100% de humedad relativa significa que está a punto de formarse niebla o rocío a medida que el vapor se condensa.

⁴ DHT11/22 Funciona para cualquiera de los módulos sensores de temperatura y humedad DHT11 o DHT22.

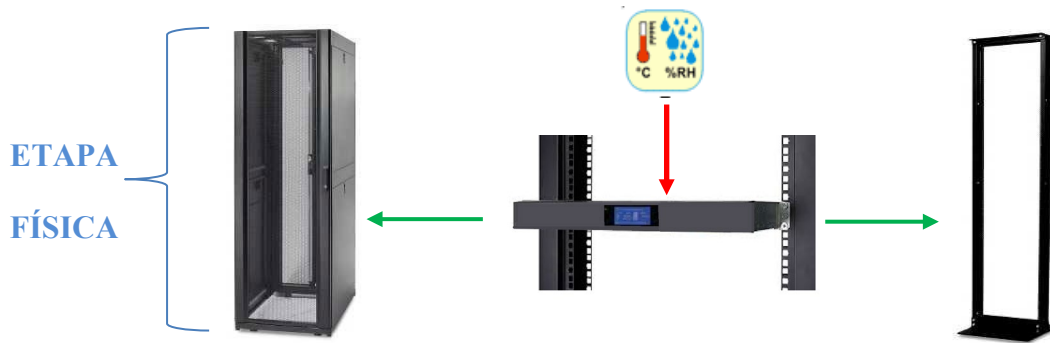


Figura 1. Dispositivo para montaje en rack que muestra en una pantalla 16x2 la información de temperatura y humedad

Los datos obtenidos por el sensor DHT11/22 se procesarán por medio del microcontrolador ATmega328P, este controlador es utilizado a gran escala para proyectos con sistemas embebidos en un ambiente de desarrollo integrado (IDE).

Cada dato adquirido es enviado por red hacia una computadora que almacena cada registro de temperatura y humedad más la información de fecha y hora, para su procesamiento posterior; el dispositivo a emplear para el envío de datos está basado en el controlador 10Base-T con el circuito integrado ENC28J60 que contiene una interfaz SPI (Serial Peripheral Interface) la cual proporciona conectividad ethernet al ATmega328P que será el microcontrolador principal que se utilizará en este proyecto.

La información obtenida se almacena en una base de datos bajo un software libre como es MySQL instalado sobre un servidor con sistema operativo LINUX⁵ (Debian) y con intervalos de tiempo configurables, además de un desarrollo de página web con programación en PHP-HTML para mostrar gráficos en tiempo real y el envío de alarmas por correo electrónico cuando

⁵ Linux es un sistema operativo (SO) open source. En 1991, Linus Torvalds lo diseñó y creó a modo de pasatiempo. Mientras estaba en la universidad, intentó crear una versión open source, alternativa y gratuita del sistema operativo MINIX, que a su vez se basaba en los principios y el diseño de Unix. <https://www.redhat.com/es/topics/linux>

los valores óptimos estén fuera de rango por falla o mal funcionamiento en los sistemas de aire acondicionado dentro de un CDTIC.

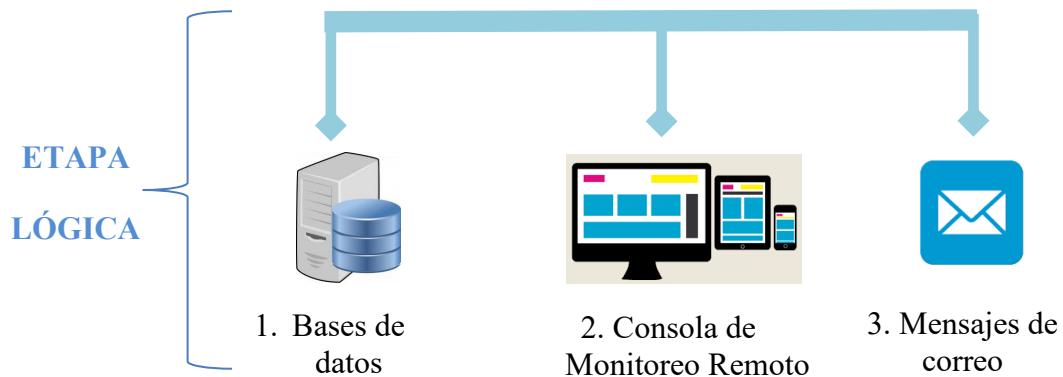


Figura 2. Etapa de software para almacenamiento de datos, generación de gráficos y envío de alarmas por correo

La imagen muestra los tres elementos que componen la etapa lógica:

- 1) Módulo de base de datos: en este módulo se almacenan los datos de la temperatura y humedad que son enviados por la red LAN y se registran con la fecha y la hora del envío.
- 2) Módulo de Consola de Monitoreo; en este módulo se visualizan en un ambiente gráfico todos y cada uno de los datos que se almacenan en la base de MySQL.
- 3) Módulo de correo electrónico: este módulo representa un excelente sistema de alarma para los casos en que los equipos de aire acondicionado y/o de precisión instalados en los Centros de Datos presentan inconsistencias o fallas en su operación, así, mediante el envío de correos electrónicos al personal responsable proceda a revisarlos antes de que los equipos instalados fallen por incrementos de temperatura.

1.6 Diagrama a bloques del Proyecto

El esquema general se muestra en el siguiente diagrama a bloques, que muestra los diferentes módulos tanto físicos como lógicos:

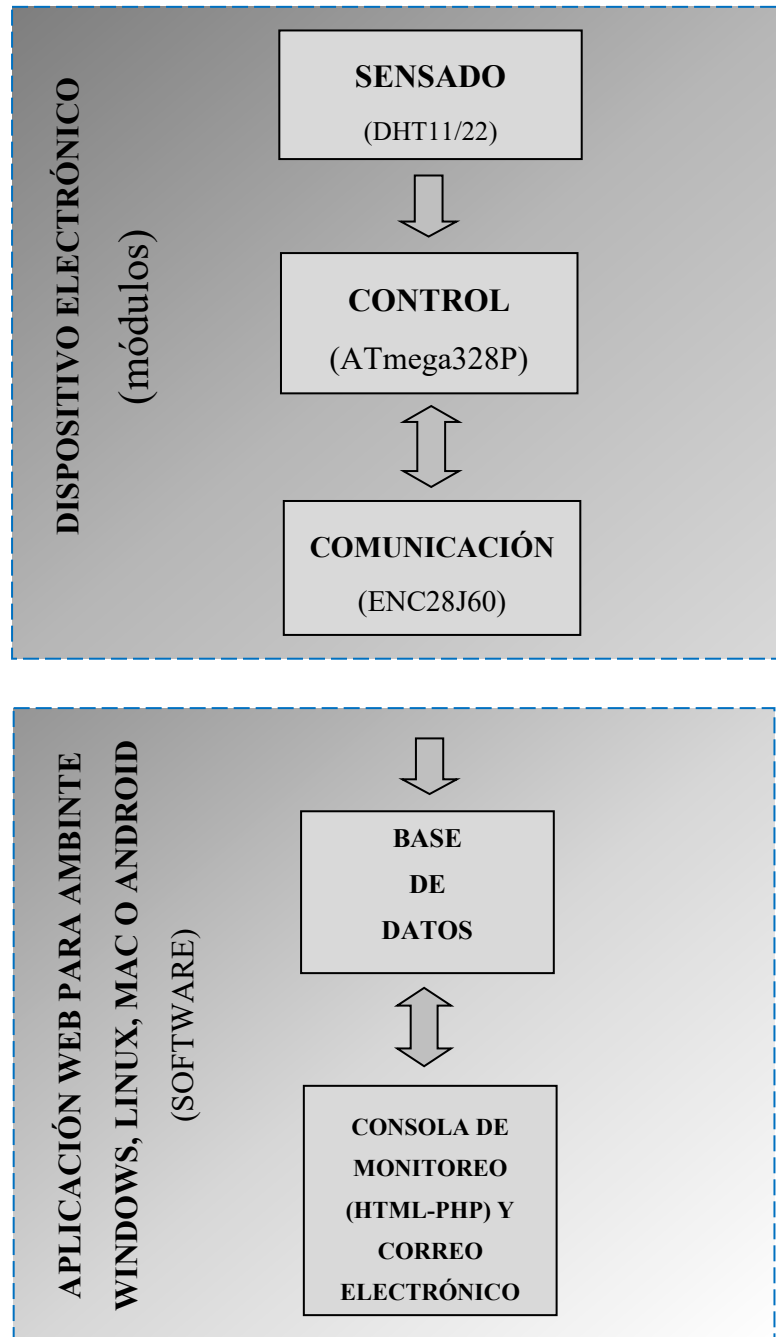


Figura 3. Diagrama a bloques que describe la parte física y lógica

CAPÍTULO 2

SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

2.1 Definición de un sensor

Un sensor es un componente físico que tiene la capacidad de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables y transformarlas en señales eléctricas. Estas variables pueden ser de varios tipos como: intensidad, temperatura, distancia, aceleración, desplazamiento, presión, fuerza, humedad, movimiento, etc. que se utilizan para ser transferidas y procesadas para un objetivo específico.

2.2 Sensor de temperatura y humedad

En el caso de los dispositivos o componentes físicos que se fabrican actualmente y que pertenecen a la categoría de sensores de temperatura, sensores de humedad o sensores de temperatura y humedad, existen una gran gama en el mercado electrónico que tienen aplicaciones diseñadas acorde a las necesidades y a rangos de registro orientados tanto a nivel industrial para obtener mediciones que van de cientos hasta miles de grados centígrados como a niveles de menores rangos de registro.

Para conseguir el objetivo principal del proyecto a desarrollar, se encontró entre una gran gama de dispositivos un sensor que permite manejar niveles de temperatura y humedad acordes a las necesidades del proyecto, estos dispositivos fueron ubicados para un registro de temperaturas de 0 a 50° y otro que amplía su rango hasta 100 °C y para rangos que están entre el 20 y 100% en lo correspondiente a la humedad relativa.

Los sensores que se utilizaron son el DHT11 y el DHT22, que entre sus características podemos mencionar el bajo costo para los dos modelos y el despliegue de datos digitales, que representa una gran ventaja frente a los sensores del tipo análogo, como el LM335 por ejemplo, que, aunque es un elemento de bajo costo, las fluctuaciones en el voltaje alteran la lectura de datos.

El proceso de comunicación utiliza un solo cable bidireccional, utiliza un formato de datos sobre una línea única para la comunicación y sincronización entre un MCU (Main Control Unit o Microcontrolador) y el sensor DHT11, donde un proceso de comunicación dura aproximadamente 4 ms.

Este sensor se conectará utilizando el esquema típico de conexión, el cual se muestra en la siguiente figura:

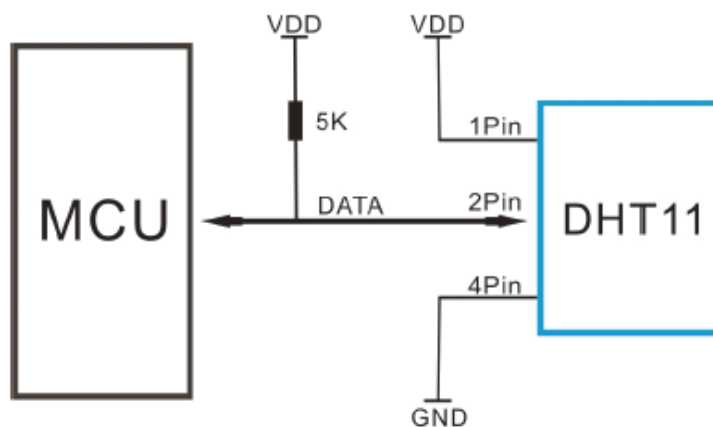


Figura 4. Conexión típica para el sensor DHT11 [8]

Los datos consisten en partes decimales y enteras. El bloque completo de datos es de 40 bits, y el sensor envía primero el bit de datos más alto.

10111000	1101101	00110100	00010100	XXXXXXXX
Byte parte entera de humedad	Byte decimales de humedad	Byte parte entera de temperatura	Byte decimales de temperatura	Suma de bytes +1 +2 +3 +4

Figura 5. Secuencia de datos de 40 bits con la información de la temperatura y humedad

Formato de datos:

8 bits de datos enteros de Humedad Relativa

8 bits de datos decimales de Humedad Relativa

8 bits de datos enteros de Temperatura

8 bits de datos decimales de Temperatura

8 bits de Suma de verificación (check-sum)

Si la transmisión de datos es correcta, la suma de verificación debe ser igual a:

los 8 bits de datos enteros de Humedad Relativa

los 8 bits de datos decimales de Humedad Relativa

los 8 bits de datos enteros de Temperatura

los 8 bits de datos decimales de Temperatura

2.3 Proceso general de comunicación para el DHT11/22

Cuando el MCU envía una señal de inicio, el DHT11/22 cambia del modo de bajo consumo de energía al modo de ejecución y espera a que termine la señal de inicio del MCU.

Una vez que ésta se completa, envía al MCU una señal de respuesta que contiene los 40 bits de datos con la información sobre la temperatura y la humedad relativa.

Se puede optar por tomar solo alguno de los datos, sin la señal de inicio del MCU, el DHT11/22 no enviará ninguna señal al MCU.

Cuando se han recibido los datos, el DHT11/22 cambiará a modo de bajo consumo de energía hasta que reciba de nuevo una señal de inicio del MCU.

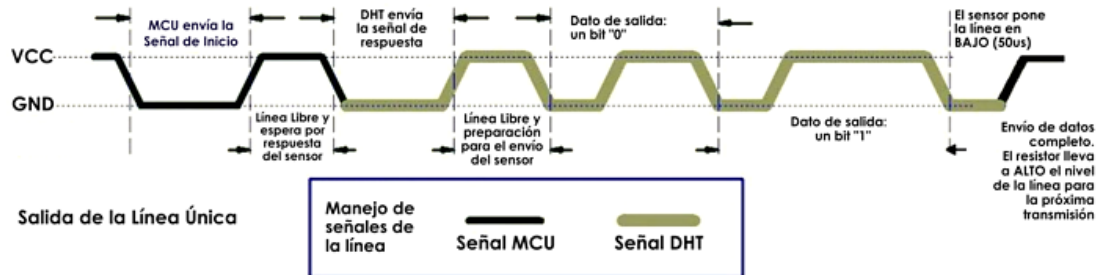


Figura 6. Proceso general de comunicación [8]

2.3.1 Sensor de temperatura y humedad DHT11

A continuación, se muestra la figura del sensor DHT11 y las principales características:

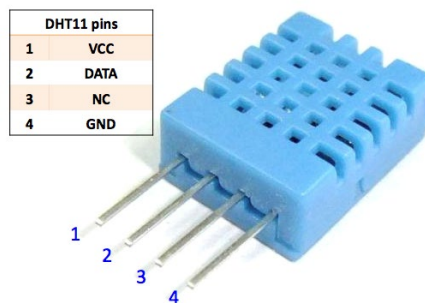


Figura 7. Sensor de temperatura y humedad DHT11

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y de fácil uso y manejo en su instalación. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor

para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin 2 de datos (no posee salida analógica). Es bastante simple de usar tanto en hardware como software. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, que para las necesidades de este proyecto no se requiere un sensor de respuesta menor a ese tiempo.

El sensor DHT11 se caracteriza por tener la señal digital calibrada, asegurando una alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El componente integra sensores resistivos para temperatura (termistor) y otro para humedad. Puede medir la humedad en un rango desde 20% hasta 90% y temperatura en el rango de 0°C a 50°C.

Cada sensor DHT11 viene calibrado desde su fabricación, presentando una extrema precisión en la calibración. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP (One-Time-Programmable, Programable una sola vez) que son empleados por el proceso de detección de señal interna del sensor.

El protocolo de comunicación emplea un único hilo o cable, por lo tanto, hace que la integración de este sensor en el proyecto sea rápida y sencilla.

En comparación con el DHT22, este sensor es menos preciso y funciona en un rango más pequeño de temperatura-humedad, pero su empaque es más pequeño y de menor costo.

2.3.2 Especificaciones Técnicas DHT11

Voltaje de Operación: 3V - 5V DC

Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C

Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C

Resolución Temperatura: 0.1°C

Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH

Precisión de medición de humedad: 4% RH

Resolución Humedad: 1% RH

Tiempo de registro: 2 seg.

Interfaz: Digital Serial

2.3.3 Pines de conexión para el sensor DHT11

1- Alimentación: +5V (VCC)

2- Datos

3- No Usado (NC)

4- Tierra (GND)

- Se recomienda utilizar una resistencia de 4.7K Ohm en modo Pull-up⁶, entre el pin de datos y VCC, así como un capacitor de 100 nF entre los pines 1 y 4 como filtro de energía.

2.3.4 Sensor de temperatura y humedad DHT22

Para este dispositivo sensor, presenta un rango diferente en los niveles de registro, pero las características son totalmente parecidas al DHT11.



Figura 8. Sensor de Temperatura y humedad DHT22

⁶ Resistencia que establece un estado lógico en un pin o entrada de un circuito lógico cuando se encuentra en estado de reposo.

El DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más.

El sensor DHT22 puede ser utilizado con las plataformas Arduino/Raspberry, es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3.3-6V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital. Quizá la única desventaja del sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor es calibrado en fabrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único hilo o cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20m.

El DHT22 presenta mejores prestaciones respecto al sensor DHT11, como mejor resolución, mayor precisión y un empaque más robusto.

2.3.5 Especificaciones técnicas DHT22

Voltaje de Operación: 3.3V - 6V DC

Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C

Precisión de medición de temperatura: $< \pm 0.5$ °C

Resolución Temperatura: 0.1°C

Rango de medición de humedad: 0 a 100% RH

Precisión de medición de humedad: 2% RH

Resolución Humedad: 0.1%RH

Tiempo de registro: 2s

Interfaz digital: Single-bus (bidireccional)

Dimensiones: 20x15x8 mm

Peso: 3 gr.

Carcasa de plástico blanco

2.3.6 Pines de conexión para el sensor DHT22:

1- Alimentación: +5V (VCC)

2- Datos (DATA)

3- No Usado (NC)

4- Tierra (GND)

- Se recomienda utilizar una resistencia de 4.7K Ohm en modo Pull-up⁷, entre el pin de Datos y VCC

Al igual que el modelo DHT11, se utiliza el esquema de conexión típica como se indica en la Figura 4.

2.4 Diseño de la tarjeta electrónica para el sensor

Para este paso se pensó en hacer del proyecto un esquema de tipo modular, esto implica que la interconexión de todos los elementos físicos que interactúan con el dispositivo principal que controla el proceso de medición, despliegue de datos y comunicación por red, se construya

⁷ estas resistencias establecen un estado lógico en un pin o entrada de un circuito lógico cuando se encuentra en estado de reposo.

de forma independiente para que se puedan conectar entre sí y, en caso de fallas, solo baste con sustituir el módulo requerido.

De acuerdo con el propósito anterior, el módulo sensor de temperatura y humedad en su parte física se representa en la siguiente figura:



Figura 9. Módulo Sensor para conectarse por puerto USB

El sensor de temperatura DHT11/22 estará montado en una placa de circuito impreso y en el extremo un conector USB soldable. Para el diseño de la placa, se utilizó ExpressPCB⁸ como herramientas de software de diseño CAD.

Las siguientes imágenes muestran el diseño de la PCB y el módulo sensor USB terminado:

⁸ <https://www.expresspcb.com/expresspcb-plus-pcb-layout-software/>

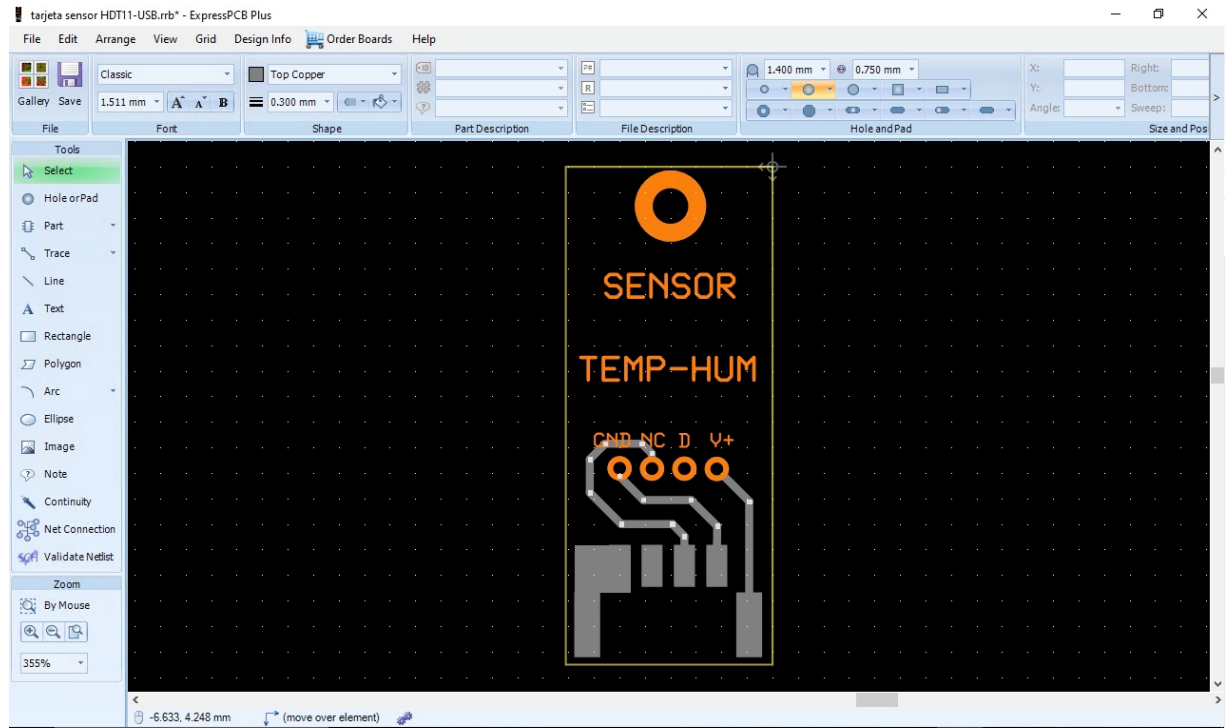


Figura 10. Diseño de la placa de circuito impreso del módulo USB

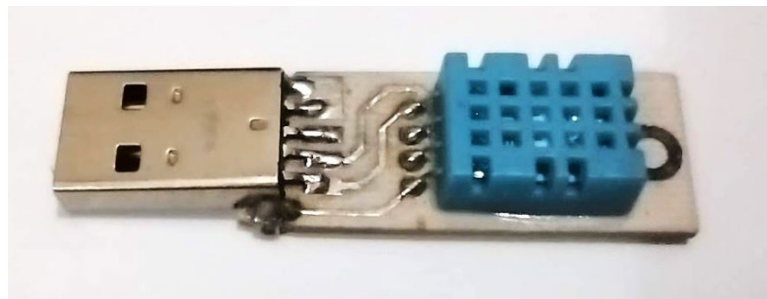


Figura 11. Módulo sensor USB

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PCB

3.1 Introducción a los Microcontroladores

Aunque no es el objetivo de este proyecto ahondar en definiciones y conceptos teóricos sobre un microcontrolador, es importante mencionar algunas características generales.

El concepto de controlador se ha manifestado a través del tiempo, aunque su implementación física ha variado significativamente con los cambios tecnológicos. En sus inicios, los controladores se construyeron con base a circuitos analógicos, los resultados se obtenían por medio de configuraciones de transistores o amplificadores operacionales, hasta que años más tarde se empleó lógica discreta con circuitos digitales de baja o mediana escala de integración.

Un microcontrolador o MCU (*Micro Controller Unit*) es un CI (*Circuito Integrado*) con una escala de integración muy grande (*VLSI, Very Large Scale Integration*) que internamente se compone de una Unidad Central de Procesamiento (*CPU, Cental Processing Unit*), memoria para almacenar código, memoria para datos, temporizadores, fuentes de interrupción y otros elementos necesarios para el desarrollo de aplicaciones, orientados a conseguir un propósito muy específico. Si bien, un MCU incluye prácticamente los elementos necesarios para ser considerado como una computadora en un circuito integrado, frecuentemente no es tratado como tal, ya que su uso típico consiste en el desempeño de funciones de “control” interactuando con el “entorno físico” para monitorear condiciones (a través de sensores) y en respuesta a ello, encender o apagar dispositivos o interactuar con otros dispositivos.

Un microprocesador básicamente contiene una CPU, mientras que un microcontrolador además de la CPU contiene memoria, temporizadores, interrupciones, puertos y otros componentes útiles para el desarrollo de aplicaciones, todos estos elementos colocados en un circuito integrado.

El microcontrolador tiene más recursos que el microprocesador, pero su CPU está limitada en términos de su capacidad de procesamiento. Entre algunas de sus limitaciones encontramos las siguientes:

- **Velocidad de procesamiento:** Actualmente los microcontroladores trabajan a frecuencias máximas de 20 MHz, mientras que los microprocesadores están en el orden de GHz.

- **Capacidad de direccionamiento:** Un microcontrolador promedio dispone de 8 Kbyte para instrucciones y 1 Kbyte para datos, los microprocesadores modernos pueden direccionar hasta 1 Terabyte, espacio utilizado para manejo de instrucciones y datos.

- **Tamaño de los datos:** Los microcontroladores populares son de 8 bits y dentro de sus instrucciones incluyen algunas que permiten evaluar o modificar bits individuales. Los microprocesadores actuales trabajan con datos de 32 o 64 bits.

Los microcontroladores están enfocados a **Sistemas de Propósito Específico** en su memoria reside un programa destinado a procesar una aplicación determinada, sus líneas de entrada/salida soportan la interconexión de sensores y actuadores de ese dispositivo a controlar. Una vez programado y configurado, el microcontrolador sirve para ejecutar la tarea asignada.

Los microcontroladores ofrecen soluciones prácticas a muchos problemas de diversos campos como, por ejemplo:

- Periféricos y dispositivos auxiliares de las computadoras
- Electrodomésticos
- Aparatos portátiles y de bolsillo (tarjetas, teléfonos, etc.)
- Máquinas despachadoras de productos
- Instrumentación

- Industria automotriz
- Control industrial y robótica
- Electromedicina
- Sistema de navegación espacial
- Sistemas de seguridad y alarma
- Domótica en general

En general los microcontroladores incluyen instrucciones que operan directamente sobre 8/16 bits, o bien, puede buscarse un microcontrolador con una CPU de 8/16 bits. Para las salidas, es muy común que se requiera la manipulación directa de 1 bit. El encendido o apagado de un motor, un relevador, una lámpara, etc., no requiere más de 1 bit. Si fuera necesario algún tipo de variación en la intensidad de la salida, puede utilizarse modulación por ancho de pulso (*PWM, Pulse Width Modulation*).

Puede observarse que un MCU efectivamente contiene elementos suficientes para ser considerado como una computadora básica en un CI. Aunque sería una computadora con una capacidad de procesamiento limitada, no obstante, los recursos incluidos en un MCU son suficientes para aplicaciones de propósito específico, que no demanden un alto rendimiento y que no requieran manejar un conjunto masivo de datos. Aplicaciones como el procesamiento de video o manipulación de imágenes, están fuera del alcance de un microcontrolador.

3.2 Microcontrolador ATmega328P

Para el desarrollo y diseño de la tarjeta de circuito impreso se utilizó el microcontrolador ATmega328P [5], el cual proporciona los suficientes pines para conectar los módulos siguientes:

- Sensor DHT11/22: módulos propuestos para medir cada uno de los datos de temperatura y humedad de un CDTIC, requiere un solo pin de conexión como se menciona en las especificaciones técnicas descritas en el capítulo 2.3.2.
- Pantalla LCD 16x2: para indicar en todo momento la información en tiempo real de la temperatura y humedad (ver 3.3).
- Módulo de comunicación Ethernet ENC28J60: para enviar los datos de la temperatura y humedad a través de una red LAN o WAN.

En la siguiente figura se muestra el circuito integrado ATmega328P fabricado por Atmel (Microchip) Pertenece a la familia AVR⁹ con arquitectura RISC¹⁰ de 8 bits. Cuenta con poderosas instrucciones que se ejecutan en su mayoría en un solo ciclo de reloj, por lo que puede alcanzar un desempeño cercano a 1 MIPS (Million instructions per second) por cada 1 Mhz en la frecuencia de reloj.



Figura 12. Circuito integrado Atmel ATmega328P

⁹ AVR al parecer es un acrónimo de Advanced Virtual RISC, pero hay rumores de que se debe a sus diseñadores: Alf and Vegard. Aunque Atmel dice que no se refiere a nada particular.

¹⁰ RISC significa Conjunto Reducido de Instrucciones de Cómputo (por Reduced Instruction Set Computing).

3.2.1 Características del Microcontrolador Atmel ATmega328P [5]:

Se describen a continuación algunas de las principales características del circuito integrado utilizado en este proyecto:

- Microcontrolador arquitectura de 8 bits de la familia AVR
- Hasta 23 pines I/O disponibles
- Memoria de programa flash de 32 kB
- SRAM de 2 kB
- EEPROM de datos de 1 kB
- Velocidad máxima de la CPU 20 MIPS
- Oscilador externo hasta 20 MHz
- Voltaje de operación 1.8 V a 5.5 V
- ADC de 10 bits y 6 canales
- 2 timers/contadores/comparadores de 8 bits
- 1 timer/contador/comparador/Captura de 16 bits
- 6 canales PWM
- USART Full duplex
- SPI
- TWI Two-wire Serial Interface (2-Wire) (I2C compatible)
- Comparador análogo
- Múltiples fuentes de interrupción
- Oscilador de reloj interno
- Brown-out Reset de valor programable
- Power-on Reset
- Bajo consumo
- Soporta 10,000 ciclos de borrado/escritura en memoria flash
- Soporta 100,000 ciclos de borrado/escritura en memoria EEPROM
- Protección de código programable
- Encapsulado PDIP de 28 pines

3.2.2 Pines de conexión del Microcontrolador Atmel ATmega328P

La siguiente imagen muestra la distribución de los pines de conexión del microcontrolador:

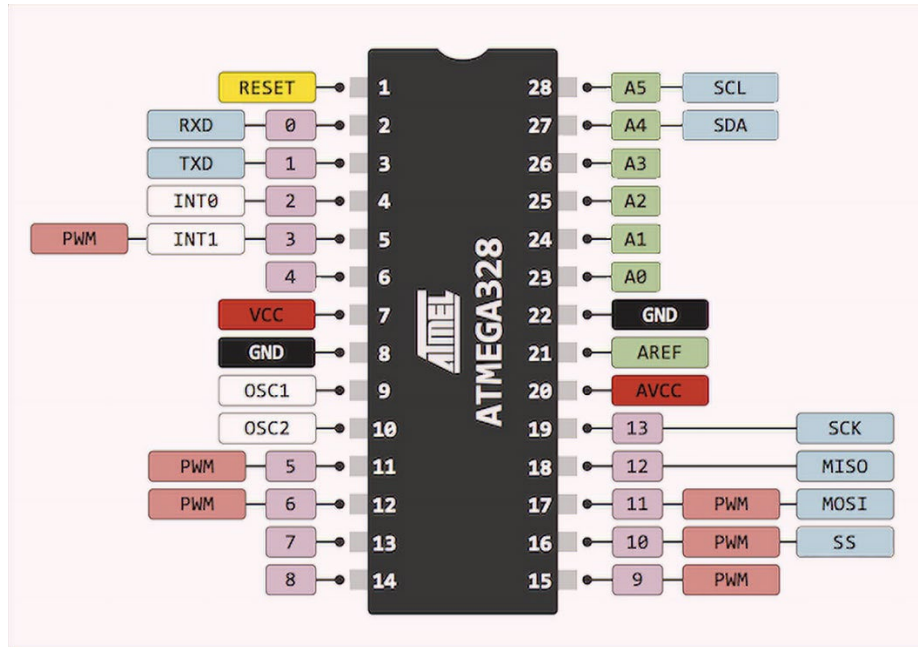


Figura 13. Pines de conexión ATmega328P

La PCB que se diseñó para el manejo de la temperatura y humedad, se le añadió un puerto USB adicional para la programación del circuito integrado ATmega328P, que permitirá correr actualizaciones en caso de mejoras en el código.

3.3 Pantalla LCD 16X2

El sensor de temperatura y humedad también está pensado para que los datos que son sensados, se puedan mostrar en todo momento mediante la incorporación de un módulo de pantalla (display LCD). Para conseguir este objetivo, se propuso una pantalla LCD alfanumérica y de bajo consumo que indique los dos datos que envía el módulo DHT11/22, el primero de

ellos será mostrado en la línea superior y será etiquetado como: “TEMPERATURA =” que particularmente será considerado como el parámetro más importante y en la segunda línea el de “HUMEDAD =”

En la siguiente imagen se observa el módulo que será incorporado a la PCB y que posteriormente se va a describir cómo quedará ensamblado y que al igual que el módulo USB, se pueda conectar como un sistema modular que permita en caso de falla de la pantalla, sustituir de forma práctica y sencilla.

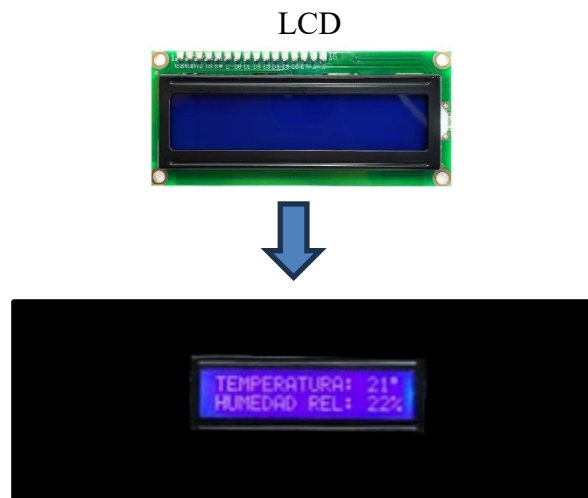


Figura 14. Módulo LCD 16X2 para mostrar la temperatura y la humedad de forma visual

3.3.1 Especificaciones técnicas del display LCD 16X2

A continuación, se muestran las características principales del módulo LCD 16X2 utilizado en este proyecto:

- Tipo: Pantalla LCD Monocromática
- Voltaje de alimentación: 3.3V / 5V DC
- Interfaz: Paralelo 4 y 8 bits
- Corriente de operación: 90mA ~ 120 mA

- Filas: 2
- Columnas: 16
- Controlador o equivalente: AIP31066, HD44780, KS0066, SPLC780, ST7066
- Color disponible: Fondo azul y texto blanco, Fondo amarillo y texto negro
- Número de pines: 16p
- Peso: 32g

3.3.2 Conexión de terminales del Display LCD 16x2

Para empezar, debemos contar con un potenciómetro para el control de la iluminación en la pantalla LCD de 16x2, tener la librería correcta para emular el despliegue de datos con el ATmega328P y los pines que se van a utilizar para poderlos declarar en las líneas de programación.

Para la correcta conexión, se van a utilizar 12 de los 16 pines, ya que se conectará la pantalla LCD en modo paralelo y con una comunicación de 4 bit para ahorrar componentes en el diseño de la PCB.

Como se mencionó, nuestro display tiene 16 pines de los que usaremos 12, los cuales describiremos a continuación:

VSS: Conexión GND para alimentación.

VDD o VCC: Conexión 5V para alimentación.

VEE o VO: Se utiliza para ajustar el contraste de lo que se visualiza.

RS: Registrar selección, RS=0 el dato es de control/instrucción, cuando es 1 el dato es un registro de datos o un carácter.

RW: Pin de escritura (0) o lectura (1), permite escribir un dato en la pantalla o leer un dato desde la pantalla, para este caso lo usaremos para escribir, en la configuración del sensor, estará permanentemente conectado a GND.

- E o EN: Enable, envía (o recibe) los datos cuando está en 1, si está en 0 deshabilita la recepción de datos.
- D0 a D7: Son los pines de datos de los que usaremos solo desde D4 a D7.
- A o Led+: Ánodo, pin para 5V de luz de fondo. Es posible conectar un potenciómetro y regular la intensidad de la luz de fondo.
- K o Led-: Cátodo, pin para GND de luz de fondo.

3.4 Módulo de comunicación

Otro de los módulos que se integran al proyecto de la tarjeta principal y que corresponde a la etapa de transmisión, desde donde se estarán enviando cada uno de los registros de temperatura y humedad que se originan en el módulo de sensado, es una tarjeta de fabricación que contiene el integrado ENC28J60.



Figura 15. Módulo ENC28J60 para envío de información

3.4.1 Tarjeta Ethernet ENC28J60



Figura 16. Tarjeta Ethernet ENC28J60

El módulo Ethernet ENC28J60 permite conectar cualquier microcontrolador como el ATmega328P a la red Ethernet y de esa forma poder enviar y recibir datos desde una red local o internet. Basado en el Controlador Ethernet ENC28J60 de Microchip que cumple con las especificaciones IEEE 802.3, posee además acceso directo a memoria (DMA), hardware específico para el cálculo de las sumas de control (IP checksums), filtrado de paquetes y más. La interfaz de comunicación es de tipo SPI, compatible con sistemas digitales de 3.3V o 5V como Arduino, Teensy, Pic o Raspberry Pi¹¹. El módulo incluye también el conector RJ45 con transformadores de aislamiento y leds de link/status.

Existen múltiples aplicaciones que se pueden desarrollar con este módulo como: controlar remotamente nuestro hogar (domótica), sistemas de Internet de las Cosas (*IoT-Internet of Things*), control de relevadores, lectura remota de sensores y más.

No se requiere diseñar la etapa de comunicación, porque con esta tarjeta se transmite información mediante el envío de paquetes discretos en base a un protocolo de comunicación denominado TCP/IP (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet).

¹¹ Son placas de circuito o placas de desarrollo para diseño de todo tipo de proyectos de electrónica

3.4.2 Datos Técnicos para la tarjeta ENC28J60

Voltaje de operación: 3.3V de DC

Basado en el controlador Ethernet ENC28J60 de Microchip

Interfaz con el microcontrolador host por SPI

Interfaz Ethernet 802.3

Ancho de banda: 10 Mbps Half o Full Duplex (Manual)

Soportado por el Stack TCP/IP de Microchip Technology

Conector RJ45 HR911105A con transformadores de aislación incorporados

LED de Encendido

Cristal de 25 Mhz

Peso: 11 gramos

3.4.3 Comunicación por red TCP/IP

La etapa de comunicación que se implementó por medio de la tarjeta de comunicación basado en el controlador Ethernet ENC28J60 es para realizar el envío de datos por medio del protocolo TCP/IP.

TCP/IP son las siglas de Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet). TCP/IP es un conjunto de reglas estandarizadas que permiten a los equipos comunicarse en una red como Internet, permite establecer una conexión y el intercambio de datos entre dos equipos.

IP o Protocolo de Internet, utiliza direcciones en series de cuatro octetos con formato de punto decimal (para el ejemplo del sensor, se utiliza una IP: 192.168.111.108). Esta IP es asignada por un equipo que se encarga de proporcionar una dirección única dentro de la red del INAOE.

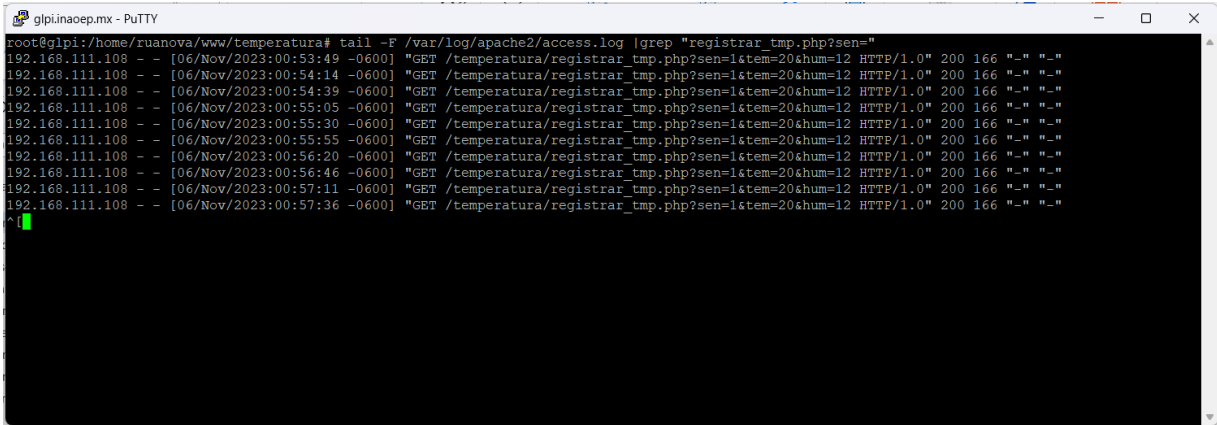
El modelo TCP/IP permite un intercambio de datos fiable dentro de una red, definiendo los pasos a seguir desde que se envían los datos hasta que son recibidos. Para lograrlo utiliza un sistema de capas con jerarquías (se construye una capa a continuación de la anterior) que se comunican únicamente con su capa superior (a la que envía resultados) y su capa inferior (a la que solicita servicios). Dentro del modelo TCP/IP existen cuatro niveles o capas que hay que tener en cuenta.

- 1) **Nivel de enlace o acceso a la red:** es la primera capa del modelo y ofrece la posibilidad de acceso físico a la red (que bien puede ser en anillo, ethernet, etc.), especificando el modo en que los datos deben enrutarse independientemente del tipo de red utilizado.
- 2) **Nivel de red o Internet:** proporciona el paquete de datos o datagramas y administra las direcciones IP. Esta capa es considerada la más importante y engloba protocolos como IP, ARP, ICMP, IGMP y RARP.
- 3) **Nivel de Transporte:** permiten conocer el estado de la transmisión, así como los datos de enrutamiento y utilizan los puertos para asociar un tipo de aplicación con un tipo de dato.
- 4) **Nivel de Aplicación:** es la parte superior del protocolo TCP/IP y suministra las aplicaciones de red tipo Telnet, FTP o SMTP, que se comunican con las capas anteriores (con protocolos TCP o UDP).

Las capas del modelo TCP/IP coinciden con algunas capas del modelo teórico OSI, aunque tienen tareas mucho más diversas. La importancia de este protocolo es muy elevada ya que permite que los datos enviados lleguen a su destino sin errores y bajo la misma forma en la que fueron enviados. Para la tarjeta, los datos son enviados a un servidor Linux en la IP 192.168.121.215 con protocolo TCP/IP que envía una instrucción de respuesta de que cada uno de los datos de temperatura y humedad fueron recibidos.

En la siguiente imagen se muestra la recepción correcta de los datos enviados por el módulo de comunicación por red mediante protocolo TCP/IP del sensor con IP:

192.168.111.108 hacia el servidor de recepción para ser almacenados en la base de datos de MySQL:



```
gipi.inaoep.mx - PuTTY
root@gipi:/home/ruanova/www/temperatura# tail -F /var/log/apache2/access.log |grep "registrar_tmp.php?sen="
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:53:49 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:54:14 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:54:39 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:55:05 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:55:30 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:55:55 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:56:20 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:56:46 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:57:11 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
192.168.111.108 - - [06/Nov/2023:00:57:36 -0600] "GET /temperatura/registrar_tmp.php?sen=1&tem=20&hum=12 HTTP/1.0" 200 166 "-" "-"
```

Figura 17. Recepción de datos por TCP/IP al Servidor con MySQL

3.5 Tarjeta de control principal

En esta parte del proyecto se trabajó en el diseño y desarrollo de la tarjeta principal (PCB) que controla todo el proceso de medición, despliegue de datos y comunicación por red. Está conformada por una tarjeta que toma la información ambiental de un CDTIC y la envía a un equipo remoto preparado para gestionar la información y mostrarla de forma no sólo gráfica sino con algoritmos para generar correos electrónicos como procedimiento de aviso oportuno para toma de decisiones sobre fallas en los sistemas de aire acondicionado; este tema se describe con mayor detalle en el capítulo 5.

3.5.1 Diseño

Ya se ha mencionado que el proyecto parte de haberse concebido como un prototipo modular que permita el manejo de las diferentes tarjetas electrónicas con conexiones

independientes, para obtener un dispositivo final que pueda ser montado en un rack o gabinete de TIC dentro de un Centro de Datos.

Se diseñó un contenedor con el tamaño suficiente y de una unidad de rack¹² que albergue todos los módulos interconectados de manera óptima para visualizar los datos a través de una red TCP/IP de forma local o por internet.

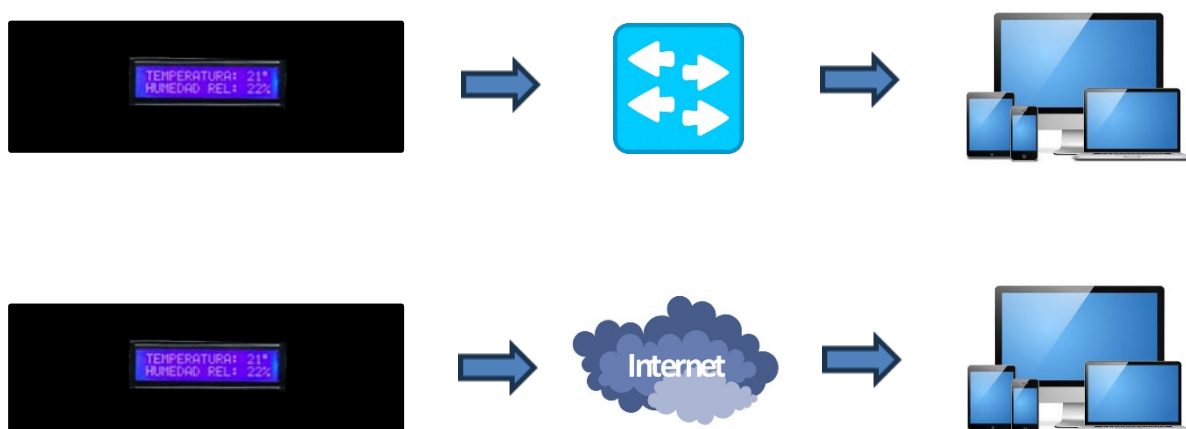


Figura 18. Sensor para una conexión LAN/WAN

En la siguiente imagen se muestra el diseño general basado en el microcontrolador de Microchip Atmel ATmega328P.

¹² Una unidad de rack (U) es una unidad de medida que equivale a 1.75 pulgadas (4.445 cm) de alto usada para describir la altura del equipamiento preparado para ser montado en un rack.

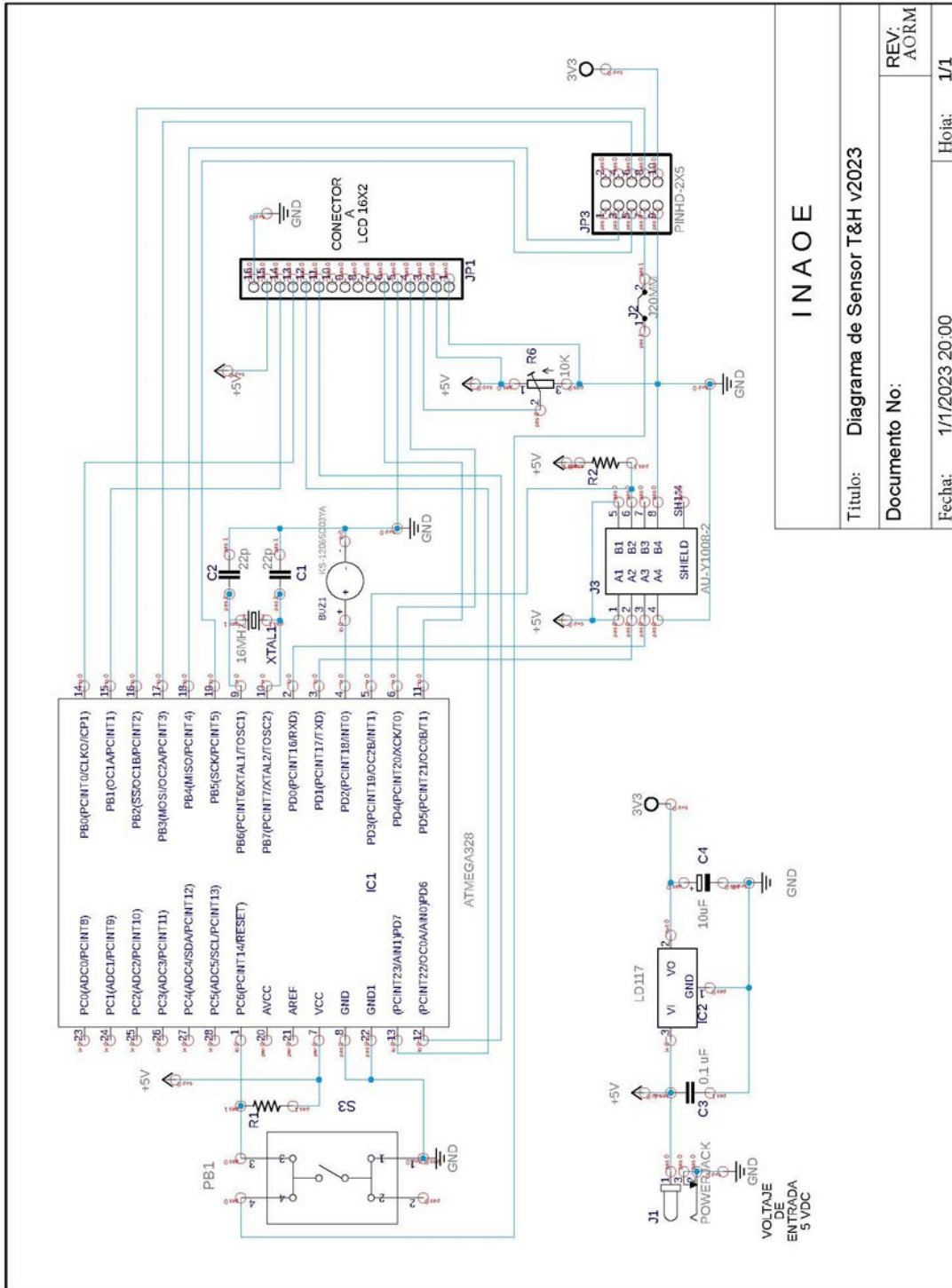


Figura 19. Diagrama general del Sensor de T&H

3.5.2 Etapa de alimentación

Para el diseño del sensor de temperatura y humedad en su etapa de alimentación, se emplea un conector hembra soldable (*powerjack*) de 2.1 mm por 5.5 mm que permitirá utilizar fuentes de alimentación comerciales con voltajes que entregan 5 volts de corriente directa (DC) a 1 amperio, para evitar el manejo de etapas previas de regulación y evitar costos adicionales si se incorporara en el diseño una fuente propia dentro de la tarjeta principal. El voltaje de 5 volts permite alimentar todos y cada uno de los módulos como son el microcontrolador ATmega328P, la pantalla LCD 16X2 y el módulo sensor de temperatura y humedad DHT11/22.

Para obtener la alimentación de energía para el módulo de comunicación ethernet ENC28J60, que trabaja con voltajes de 3.3 V, se utiliza en el diseño una etapa de regulación a 3.3 V mediante el empleo del LM1117 de Texas Instruments que se alimenta con 5V de entrada en el pin 3 y entrega en su pin 2 una salida de 3.3 V con una corriente máxima de 1.5 A y solo se requiere adicionar un capacitor de entrada de 0.1 μF y para su salida un capacitor electrolítico de 10 μF a 16V.

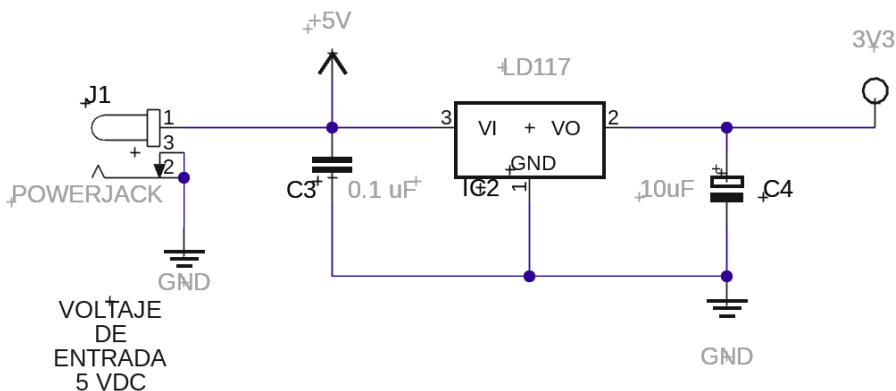


Figura 20. Diagrama del circuito de alimentación 5V y 3.3V

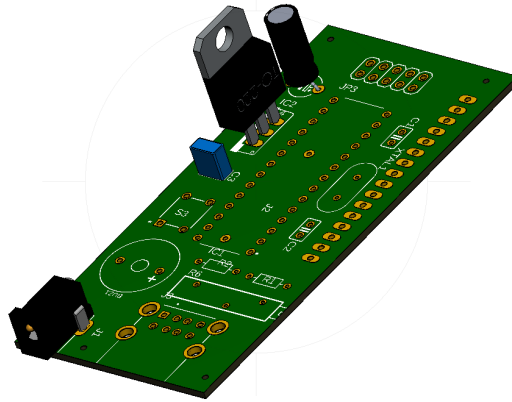


Figura 21. Fuente de alimentación en la PCB

3.5.3 Conexión del microcontrolador ATmega328P

Como ya se ha descrito en el capítulo 3.2 sobre las características del controlador ATmega328P y con la solución de cómo obtener los voltajes de 3.3 y 5 VDC, el siguiente paso es el de preparar al microcontrolador para recibir el programa de control de temperatura y humedad que permita modificar la programación cada vez que sea necesario.

Este esquema se muestra en la siguiente figura donde la alimentación se aplica en el pin 7 y los pines 8 y 22 se conectan a tierra, se utiliza un cristal de 16 Mhz y dos capacitores cerámicos de 22 pF para la etapa de oscilación en las terminales 9 y 10 del integrado de 28 pines y para el RESET se recomienda una resistencia de 10 K Ω en arreglo con un interruptor de pulso que será de gran utilidad tanto en la programación como para reestablecer el programa.

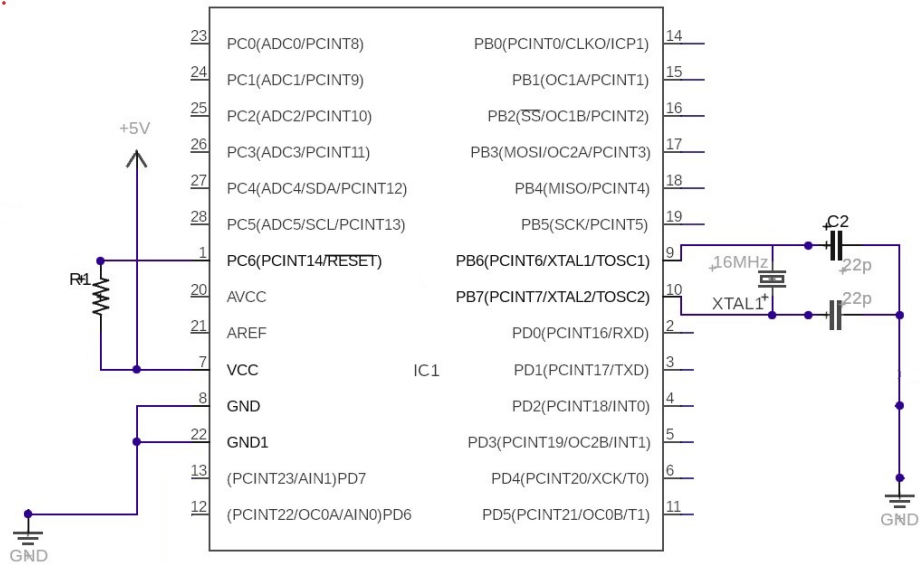


Figura 22. Diagrama de alimentación, oscilación y reset para el ATmega328P

El microcontrolador de 28 terminales se coloca en un zócalo soldable a la tarjeta para que el encapsulado se pueda manipular con mayor facilidad en caso de actualizaciones y/o sustitución.

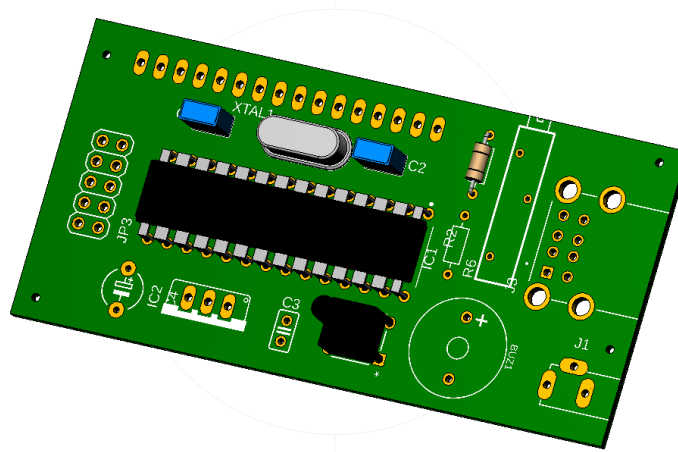


Figura 23. Conexión del microcontrolador ATmega328P en la PCB

3.5.4 Puerto USB para programación y datos del sensor

Otra etapa que se requiere para el manejo de información de entrada hacia el microcontrolador se realiza por medio de un puerto USB doble que se diseñó para facilitar dos procesos de comunicación:

- a) Módulo sensor. Como ya se indicó en el capítulo 2, el módulo que toma la información de la temperatura y humedad es conectado al primer puerto USB que lleva la señal de datos para procesarla a través del pin 5 programado como puerto de entrada en el MCU.
- b) Programación. Durante esta etapa se podrá grabar el programa que ha sido desarrollado para este proyecto o actualizaciones con mejoras al sensor de temperatura y humedad por medio de un adaptador USB RS232 TTL¹³ que se conecta al segundo puerto USB.

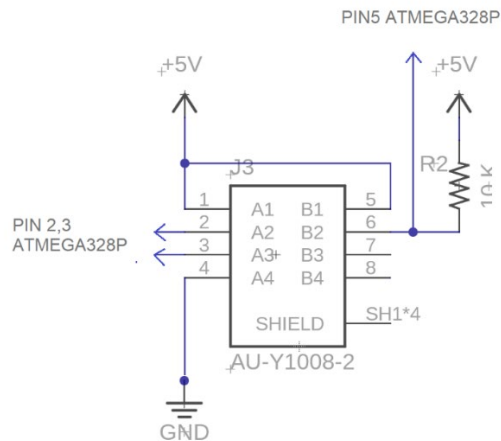


Figura 24. Diagrama de conexión USB

¹³ Este Adaptador se utiliza para convertir un puerto USB en un puerto serial UART (*Receptor/Transmisor Asíncrono Universal*) con niveles de voltaje TTL compatibles con la mayoría de las tarjetas de microcontroladores como Arduino, PIC y Raspberry Pi.

La conexión para el envío del programa hacia el controlador se realiza a través de los pines 2 y 3 (TX-RX) del ATmega328P utilizando lenguaje de programación de plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación de código abierto con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades y desarrollos en dispositivos electrónicos.

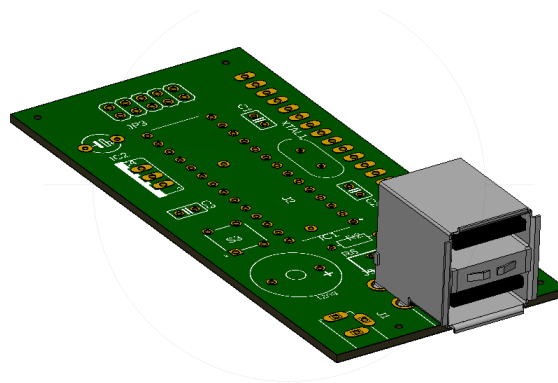


Figura 25. Conexión del puerto USB doble en la PCB

3.5.5 Conexión del Display LCD 16X2

Para el despliegue de la información de temperatura y humedad que se obtiene de la etapa de sensado por parte del módulo USB, fue necesario mostrarla de forma directa y en tiempo real.

Lo anterior se llevó a cabo mediante la conexión de un display LCD de dos filas de 16 caracteres para el despliegue de los datos, en el siguiente diagrama se puede observar la conexión de la pantalla con el conector hembra para 16 pines (JP 1x16).

↓ PINES_DESDE_EL_ATMEGA328P

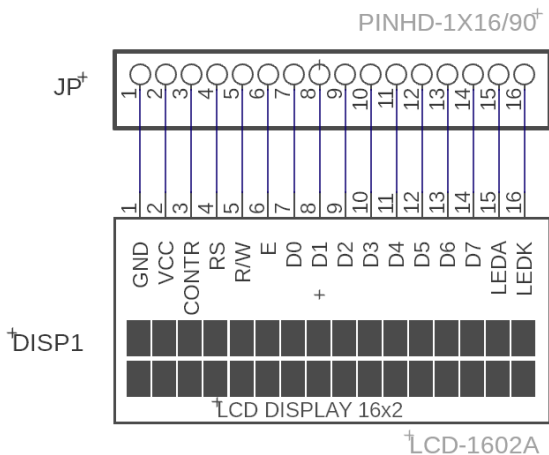


Figura 26. Diagrama de conexión del display LCD 16X2 [9]

La alimentación del display LCD 16x2 a las terminales del controlador ATmega328P se efectúa por medio de los pines 15 y 16 y el control de iluminación se realiza con el uso de un resistor variable de 10 K Ω conectado a los pines 1, 2 y 3.

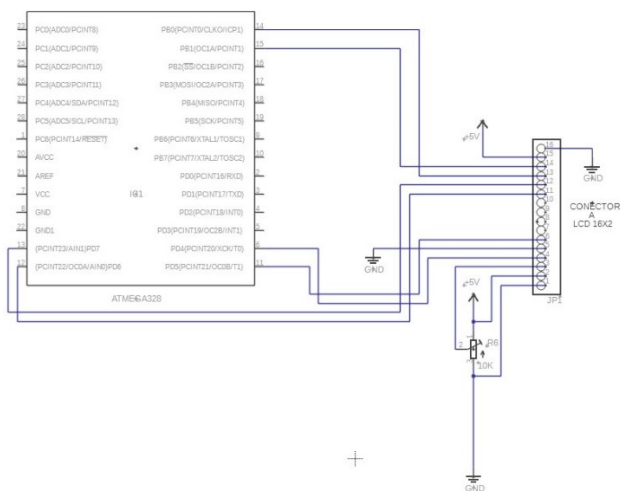


Figura 27. Diagrama de conexión LCD al Microcontrolador

En el diagrama anterior se muestra una conexión de 4 bits donde solo se utilizan en el MCU los pines del D4 al D7 conectados a los pines 12, 13, 14 y 15 y las terminales RS y E a los pines 6 y 11 para el registro de control y para habilitar el display.

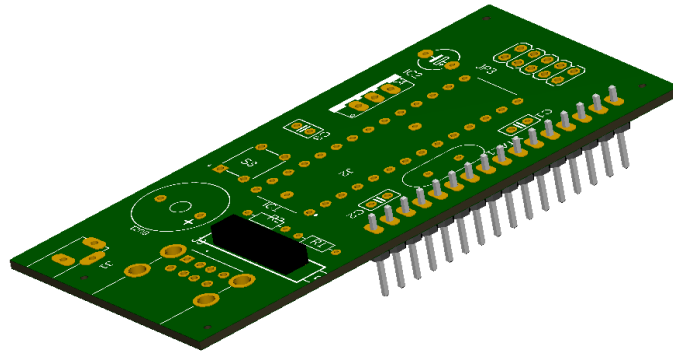


Figura 28. Bloque de conexión 1X16 en la PCB para el LCD

3.5.6 Conexión del módulo de comunicación por red

Uno de los objetivos del proyecto no solo es conseguir desplegar los datos que corresponden a la temperatura y humedad que el módulo de entrada DHT11/22 envía para ser mostrados en un display LCD 16x2 de forma local, sino que también, se puedan enviar a un dispositivo remoto para que se almacenen como datos y visualizarse como gráficos o alarmas por correo.

El siguiente diagrama presenta la etapa de diseño que se utilizó para conectar el módulo de comunicación ENC28J60 por medio de un conector de 2x5 pines como puerto de ensamble, el pin 10 se conecta con un voltaje de 3.3 que viene del módulo de alimentación y del lado del MCU se conectan las terminales 16, 17, 18 y 19.

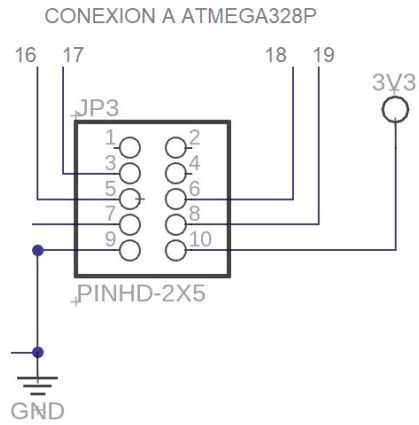


Figura 29. Diagrama de conexión del puerto 2X5 al ATmega328PP

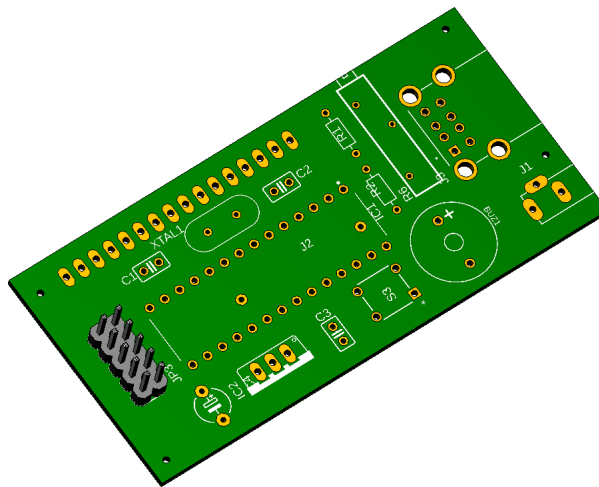


Figura 30. Conector 2X5 para la tarjeta de comunicación en la PCB

3.5.7 Zumbador

Ya se ha mencionado que cuando los parámetros de temperatura y humedad superan los valores óptimos, es necesario activar mecanismos de advertencias o alarmas para detonar

protocolos de solución o simplemente iniciar la atención de la falla del equipo de aire acondicionado.

Para este proyecto se diseñaron dos tipos de alarma, una física consistente en incorporar un zumbador (buzzer¹⁴) que permita avisar de forma auditiva y de manera local que se está presentando una falla y que es necesario iniciar acciones para buscar una solución y atender la falla y una alarma visual que se aborda con más detalle en el capítulo 5 consistente en generar un mensaje de correo para su pronta atención y seguimiento.

Lo anterior se muestra en el siguiente diagrama donde se añade a la salida del pin 4 del microcontrolador un buzzer activo que cuando se supere un determinado límite de temperatura, se genere una onda cuadrada de frecuencia programable.

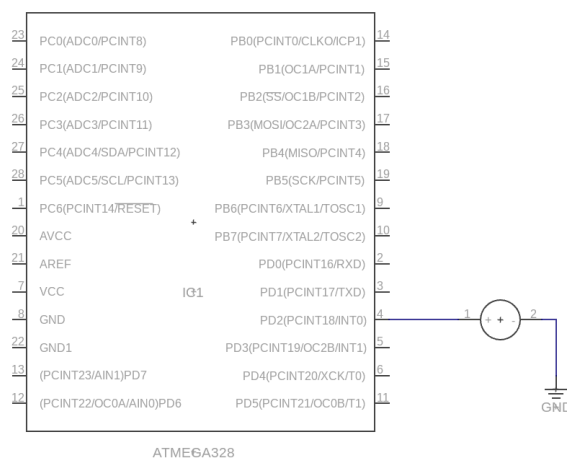


Figura 31. Conexión del buzzer

¹⁴ Buzzer es un transductor electroacústico que produce un sonido o zumbido continuo o intermitente de un mismo tono (generalmente agudo).

Todos y cada uno de los elementos se fueron incorporando a la tarjeta de circuito impreso para posteriormente colocarlos en una caja de montaje que pueda ser instalada de manera frontal o trasera en un rack o gabinete de un CDTIC.

El diseño de la PCB fue elaborado con la aplicación “ExpressPCB” que ofrece un software gratuito para diseño y fabricación de placas de circuito impreso.

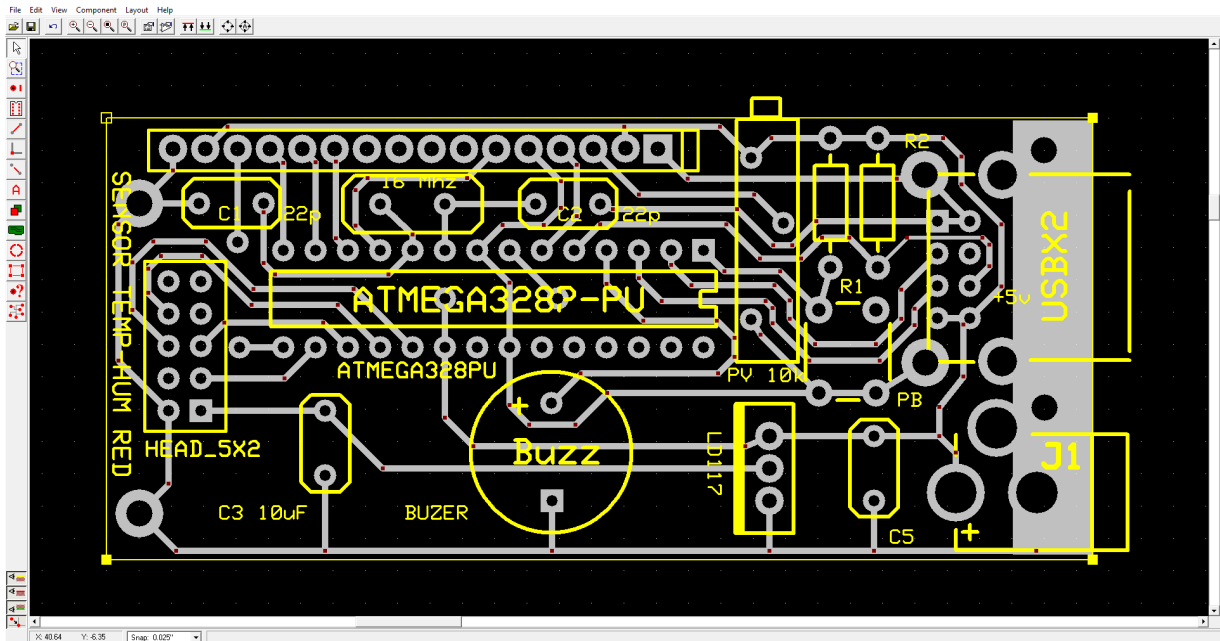


Figura 32. Diseño de la tarjeta principal

El circuito final se muestra en la siguiente imagen 3D, así como la tarjeta real.

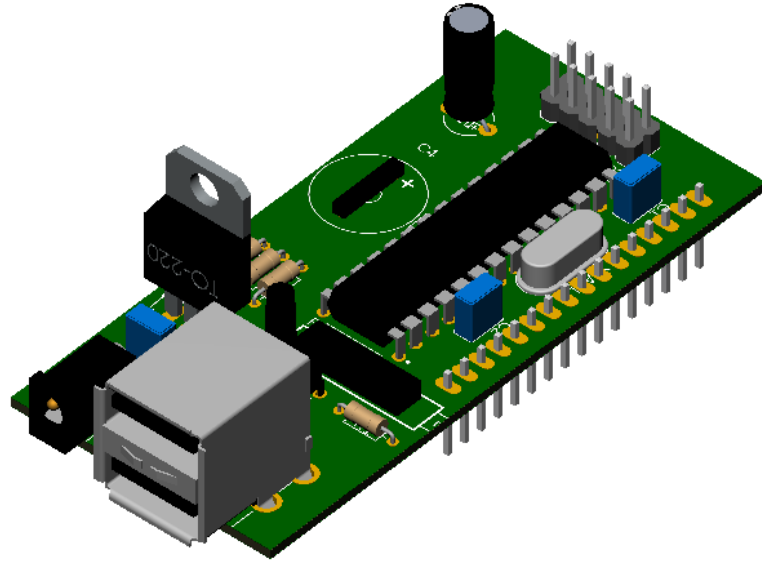


Figura 33. Imagen 3D de la tarjeta con los componentes en su primera versión

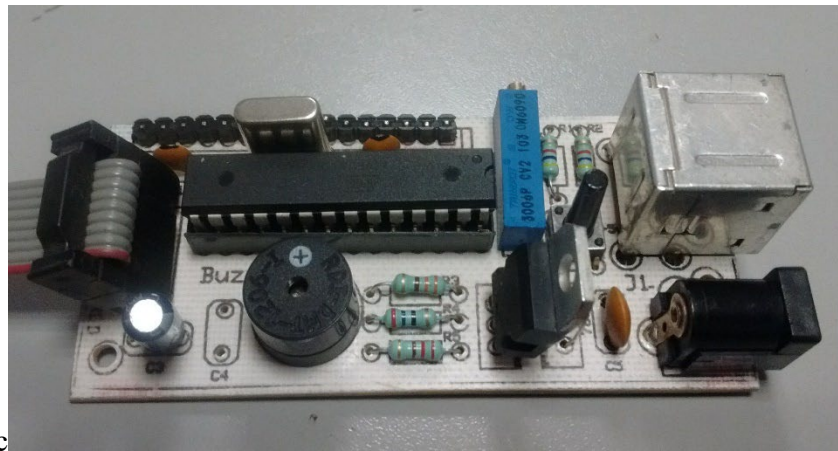


Figura 34. Tarjeta PCB con los componentes soldados en su primera versión

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL MONTAJE EN RACK

4.1 Centro de Datos ¹⁵

Las empresas modernas utilizan computadoras en prácticamente todos los procesos de su actividad: comunicaciones, almacenamiento de información, contabilidad y otras operaciones cotidianas. Un Centro de Datos son instalaciones físicas centralizadas donde se alojan servidores, redes, almacenamiento y otros equipos de TIC que optimizan el funcionamiento de una empresa. Los equipos de un centro de datos contienen o facilitan aplicaciones, servicios y datos esenciales para la empresa.

Existen centros de datos de todos los tamaños: pueden alojarse en un armario, en una habitación o en un edificio entero. Algunas empresas que tienen gran cantidad de equipos de TIC en sus centros de datos puede que necesiten más de un CDTIC. Las empresas también pueden optar por alquilar espacio de servidor y delegar el mantenimiento de su CDTIC.

4.1.1 Requisitos de un Centro de Procesamiento de Datos

Dado que los centros de datos contienen gran cantidad de costosos equipos de TIC, deben cumplir requisitos especiales en cuanto a seguridad y alimentación.

¹⁵ <https://www.vmware.com/es/topics/glossary/content/data-center.html>

Suministro de energía abundante y fiable: a menudo, los equipos de un CDTIC requieren gran cantidad de energía procedente de una fuente que esté protegida de las interrupciones mediante un sistema de respaldo que pueda ponerse en funcionamiento de forma inmediata. Los centros de datos definidos por software o virtualizados son más eficientes y necesitan mucha menos energía que los centros de datos tradicionales.

Refrigeración: al existir gran cantidad de equipos y un elevado consumo de energía, en un CDTIC se genera mucho calor, por lo que a menudo necesita algún tipo de equipo de refrigeración para tener un funcionamiento óptimo. El agua puede destruir los equipos, por lo que no se pueden utilizar rociadores para proteger los equipos de un CDTIC frente a los incendios. En su lugar, los centros de datos pueden utilizar sistemas químicos retardantes que apaguen las llamas sin dañar los equipos electrónicos.



Figura 35. Centro de Datos en INAOE

Medidas de seguridad físicas y virtuales: la seguridad es un aspecto importante de cualquier CDTIC debido a que contiene aplicaciones e información esenciales para la empresa.

Una vulneración en la que se filtren datos confidenciales de los clientes o de la empresa puede costar mucho dinero que van de miles a millones y, en el peor de los casos, destruir la marca y el negocio de una empresa. Se necesitan medidas de seguridad físicas y virtuales para garantizar que un CDTIC permanece seguro y que las empresas no están expuestas a una vulneración de los datos. Un CDTIC debe estar protegido frente a robos con medidas de seguridad físicas, como cerraduras, videovigilancia y acceso restringido. Puede utilizarse software de seguridad de red y de aplicaciones para proporcionar medidas esenciales de seguridad virtual.

4.1.2 Niveles de los Centros de Datos

Los centros de datos pueden tener diferentes niveles de seguridad, latencia¹⁶ y flexibilidad. Los centros de datos por niveles permiten el almacenamiento jerárquico de los datos en el que los archivos y los datos acceden con más frecuencia, o que requieren un rendimiento muy alto, pueden estar en un nivel, mientras que los datos a los que no se accede con la misma frecuencia pueden estar en otro nivel. En los modelos de almacenamiento como servicios basados en la nube pública¹⁷, los niveles con baja latencia son generalmente más caros que los niveles con latencia más alta.

El nivel que tiene la mínima latencia y el acceso más rápido suele ser el que está más cerca de los usuarios, que pueden interactuar con él de forma fácil y en cualquier horario. El nivel más rápido se conoce como «nivel 0». Empresas como las de servicios financieros o de investigación médica que utilizan la informática de alto rendimiento para hacer análisis de macrodatos utilizan frecuentemente el almacenamiento de nivel 0. Los niveles de almacenamiento con menores prestaciones pueden usarse como reserva para el nivel principal, o como almacenamiento para los datos que se utilizan con menos frecuencia. Los datos

¹⁶ La latencia de red es el retraso en la comunicación de la red.

¹⁷ La nube pública es un tipo de procesamiento en el que un proveedor externo ofrece recursos a través de Internet y los comparten personas y organizaciones que desean usarlos o comprarlos.

archivados pueden situarse en el nivel de almacenamiento más bajo y de menor coste, en el que una mayor latencia no supone un gran problema.

4.2 Norma ICREA [4]

Dado que el objetivo de diseñar un dispositivo que registre parámetros de temperatura y humedad y que si el nivel de esos parámetros al incrementarse alcance valores considerables que generen alarmas visuales y sonoras, la pregunta en estos procesos es: ¿cuáles son los parámetros para indicar que ha habido un incremento de temperatura y humedad? o ¿quién nos proporciona esos parámetros para indicar que hay un problema con los equipos de climatización en un CDTIC?

Para muchos de los responsables que operan los equipos de TIC en un centro de datos, siguen principalmente las recomendaciones que proporciona el fabricante para cada uno de los equipos que ofrecen en su catálogo tecnológico; sin embargo, se puede optar por el uso de normas de certificación o de buenas prácticas para el control de la climatización para la instalación de equipos en un ambiente de tecnologías de información.

ICREA (Internacional Computer Room Expert Association) es una norma internacional para la construcción e instalación de equipamientos de ambientes para el manejo de equipos de TIC, tiene como objetivo el de proveer criterios y directrices para diseñar, construir e implementar ambientes que soporten de manera confiable la operación de las tecnologías de información y comunicaciones.

Para lograr este objetivo, los criterios de diseño deben dar prioridad a la continuidad y disponibilidad del ambiente de cómputo y su infraestructura conforme a las demandas crecientes de confiabilidad y seguridad de los dispositivos de hardware y datos que constituyen los activos informáticos sensibles de toda organización.

De acuerdo con las necesidades del nivel del servicio que la organización pretenda de su Centro de Procesamiento de Datos y Comunicaciones, la infraestructura tendrá niveles

crecientes de confiabilidad y seguridad, a los cuales podrá escalarse para llegar al objetivo final de contar con un ambiente tolerante a fallas diseñado conforme a estándares y normas.

Para el objetivo de este proyecto solo nos centraremos en la parte de climatización que aborda la parte de temperatura y humedad, sin embargo, esta norma cubre los métodos y procedimientos para el diseño y construcción de las instalaciones destinadas a albergar los equipos de proceso de datos, almacenamiento de medios magnéticos, ópticos y electrónicos de datos, equipos de comunicaciones y salas de operadores de estos equipos, así como los espacios destinados a los equipos de infraestructura y de soporte necesarios incluyendo todas aquellas instalaciones denominadas de “misión crítica”.

4.2.1 Climatización

Se entiende por instalación de climatización para ambientes de TIC, a aquel sistema CRAC (Computer Room Air Conditioner) que sirva para proporcionar enfriamiento suficiente para abatir calor sensible y latente, así como controlar la humedad y remover partículas de polvo mediante filtros.

La instalación de los equipos del sistema de climatización deberá cumplir con los requisitos y/o especificaciones de los fabricantes de hardware y con los códigos locales aplicables a este tipo de instalaciones.

Existen muchos otros puntos dentro de este capítulo que proporcionan información relacionada con el control de la temperatura y humedad como:

- Generalidades
- Ventilación
- Limpieza del aire dentro del CDTIC
- Pruebas a equipos de climatización
- Mantenimiento
- Rejillas difusoras y de retorno
- Identificación

- Tolvas en la descarga de aire de manejadoras
- Zonas de seguridad
- Esclusas de acceso
- Temperatura y humedad relativa

Pero nos centraremos en este último punto asociado con los rangos de temperatura y humedad.

Los equipos de cómputo demandan un ajuste de temperatura y humedad estable para mantener sus componentes dentro de los rangos de operación recomendados por los fabricantes de equipo electrónico. Por lo tanto, el objetivo del diseño es poder estabilizar la sala dentro de los rangos admisibles, evitando los aumentos de temperatura y humedad relativa en las diferentes zonas de los cuartos de TIC.

En caso de enfriamiento en gabinetes cerrados se deberá mantener la temperatura del aire de entrada al rack por arriba del punto de rocío de las condiciones internas del rack y la humedad relativa máxima de inyección será del 80%.

Se deberán usar los lineamientos de operación de centros de cómputo definidos bajo la norma ASHRAE TC 9.9 para controlar temperatura y humedad a fin de minimizar el uso de energía sin comprometer la disponibilidad y continuidad del CDTIC.

4.2.2 Norma ASHRAE TC 9.9

ASHRAE fundada en 1894, es una sociedad global que promueve el bienestar humano a través de tecnología sostenible para el entorno construido. La Sociedad y sus miembros se centran en los sistemas de construcción, la eficiencia energética, la calidad del aire interior, la refrigeración y la sostenibilidad dentro de la industria. A través de la investigación, la redacción de normas, la publicación y la educación continua, ASHRAE se formó como la Sociedad Americana de Calefacción, Ingenieros de refrigeración y aire acondicionado por la fusión en 1959 de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado

(ASHAE) fundada en 1894 y la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Refrigeración (ASRE) fundada en 1904.¹⁸

A continuación, se muestra un cuadro comparativo de los límites que recomienda tanto ICREA como ASHRAE¹⁹ para temperatura y humedad relativa y que para propósitos de nuestro CDTIC del INAOE, se tomarán como parámetros óptimos de monitoreo los correspondientes a la segunda columna.

TEMPERATURA	ICREA °C (°F)	ASHRAE °C (°F)
NIVEL MÍNIMO DE TEMPERATURA	15 (59.0)	18 (64.4)
NIVEL MÁXIMO DE TEMPERATURA	32 (89.6)	27 (80.6)
HUMEDAD RELATIVA	ICREA % HR	ASHRAE % HR
NIVEL MÍNIMO DE HUMEDAD	20	5.5
NIVEL MÁXIMO DE HUMEDAD	80	60

Figura 36. Tabla de parámetros de Temperatura y humedad ICREA-ASHRAE

4.2.2 Monitoreo

Por norma, se deberá contar con un sistema de monitoreo ambiental independiente al propio de los equipos de climatización en el CDTIC que verifique en todo momento el cumplimiento de los parámetros de temperatura, humedad, flujo de aire, presión diferencial, filtros de aire y polvo dentro del CDTIC y emita avisos locales y remotos indicando si estos parámetros se salen de su rango prefijado.

El monitoreo remoto de temperatura y humedad presentados en los centros de datos del Instituto, serán los datos objetivo de este proyecto y que se explicarán en el siguiente capítulo.

¹⁸ <https://www.ashrae.org/about>

¹⁹ ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2011

4.3 Diseño del prototipo para montaje en rack

No solo es necesario diseñar una tarjeta electrónica que cumpla con los objetivos iniciales planteados en el proyecto para registrar los datos de la temperatura y humedad, mostrarlos en pantalla y enviarlos por red a un servidor de base de datos, sino que es también importante considerar una caja de montaje, que permitirá colocar los módulos para ocupar un espacio dentro de un gabinete o rack en las áreas de TIC de manera formal y sobre todo a un nivel de presentación profesional.

En la figura 1 se presenta el “Dispositivo para montaje en rack que muestra en una pantalla 16x2 la información de temperatura y humedad” y en la figura 17 se observa el “Sensor para una conexión LAN/WAN”, se puede observar una caja de montaje donde se necesita colocar el total de las tarjetas que componen el proyecto en su etapa física y que ahora será necesario diseñar para ser colocado en un rack o gabinete y que por el tamaño de los módulos ocupe solamente una unidad de rack.

Con base en el diseño 2D y las medidas de la tarjeta PCB, se realizó una exportación del diseño a formato DXF²⁰ para posteriormente proyectar en 3D dentro del ambiente de AutoCAD el prototipo del montaje buscado como se muestra en las siguientes figuras:

²⁰ DXF es un formato de archivo para dibujos de diseño asistido por computadora, creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos DWG, usados por el programa AutoCAD, y el resto de los programas en el mercado.

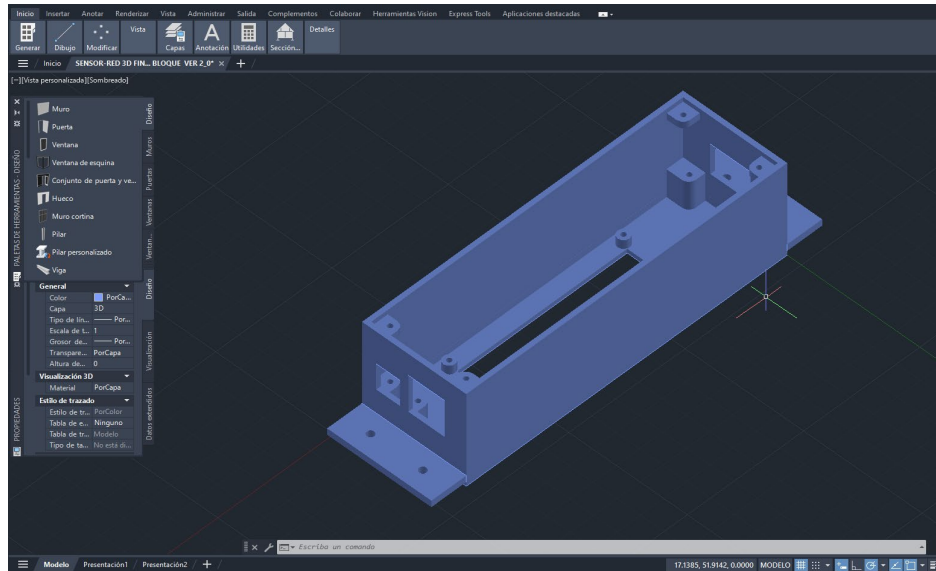


Figura 37. Diseño del montaje para rack en AutoCAD

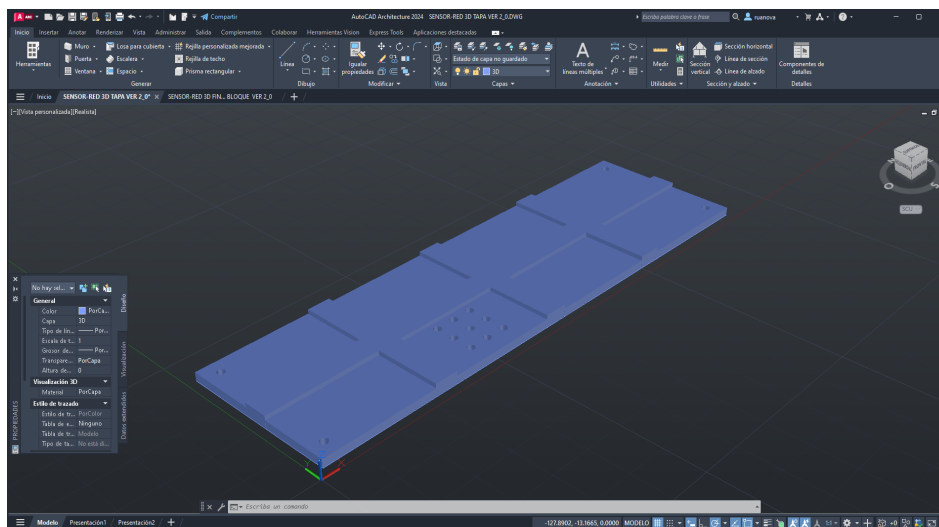


Figura 38. Diseño de la tapa del montaje en rack

El montaje final para rack realizado mediante diseño en AutoCAD se realizó con el empleo de una impresora 3D, el resultado se muestra en la siguiente imagen:

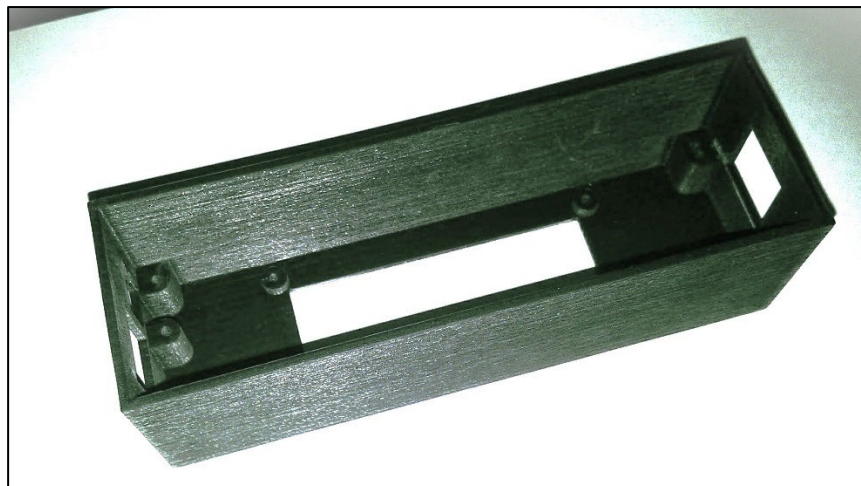


Figura 39. Montaje realizado con impresora 3D

A continuación, se muestra el montaje del prototipo real colocado en un rack de 45U en el edificio del “Centro de Ingeniería”



Figura 40. Sensor montado en Rack de 45U en Centro de Datos

4.4 Programación del controlador

A la par que se fue desarrollando el diseño y la construcción del sensor, se trabajó en la implementación y pruebas de la programación de cada uno de los módulos que componen el proyecto basado en el controlador ATmega328P que utilizan las tarjetas de Arduino UNO, por lo que para nuestro objetivo nos apoyaremos en su software de programación que es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar.

4.4.1 Diagrama de flujo

Se muestra en la siguiente imagen el diagrama de flujo del programa escrito con la aplicación Arduino IDE ver. 1.8:

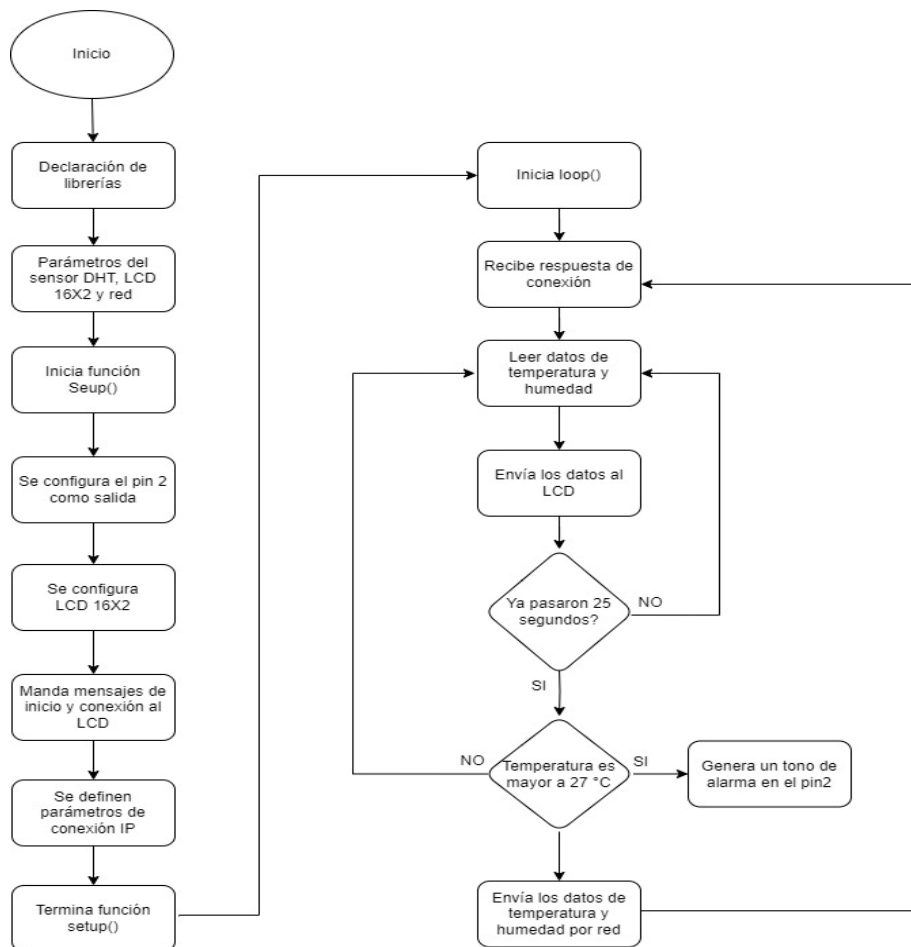


Figura 41. Diagrama de flujo del programa para el microcontrolador

4.4.2. Descripción de las etapas de programación del controlador ATmega328P

En la primera etapa se declaran las librerías que se necesitan para la comunicación con los módulos DHT, LCD y la tarjeta de red:

```
#include <enc28j60.h>
#include <EtherCard.h>
#include <net.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT11
```

Para el módulo LCD se utilizaron los pines del MCU 4, 5, 6, 7, 8 y 9 y se declara mediante la instrucción:

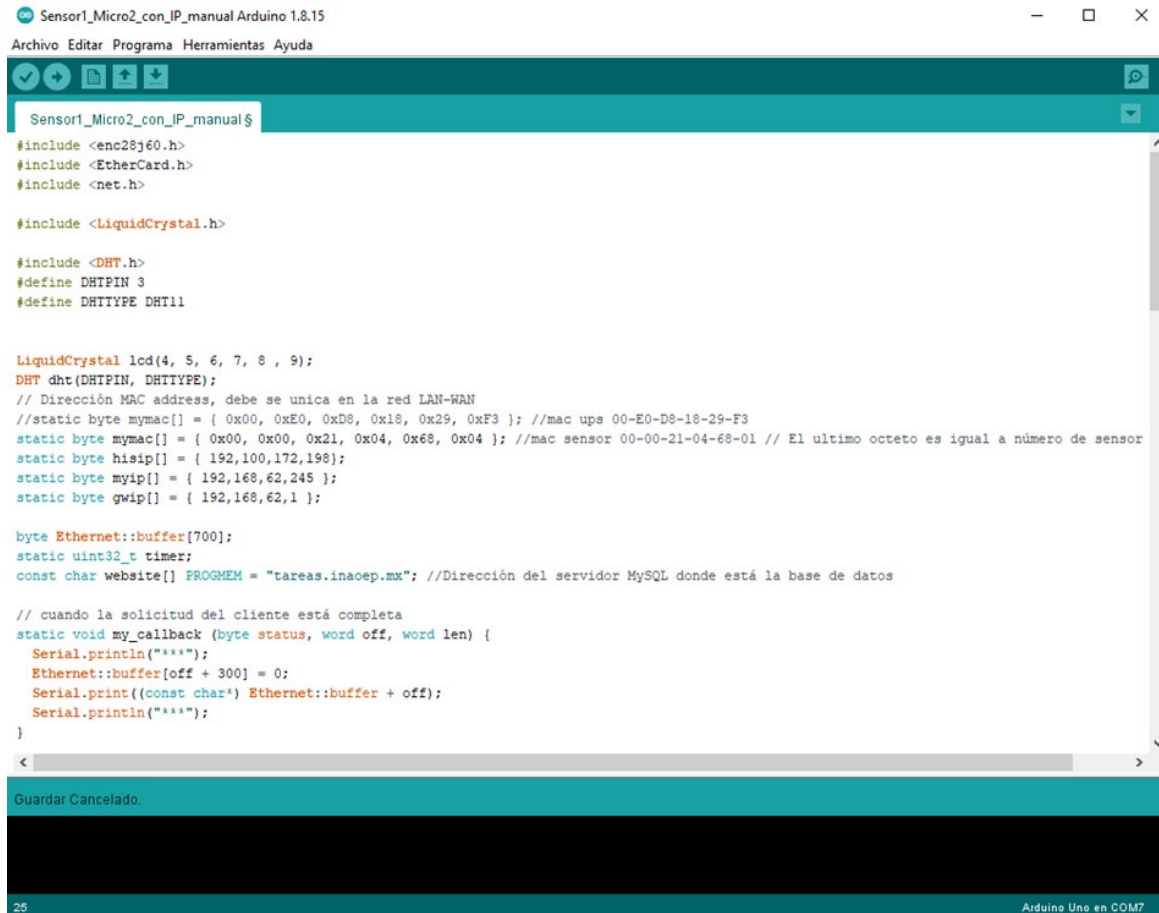
```
LiquidCrystal lcd(4, 5, 6, 7, 8, 9);
```

Para el módulo sensor de temperatura y humedad, se emplea la instrucción:

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

Para la etapa de direccionamiento del servidor de la base de datos se definió como una red estática:

```
//mac sensor 00-00-21-04-68-01
static byte mymac[] = { 0x00, 0x00, 0x21, 0x04, 0x68, 0x01 };
static byte hisip[] = { 192, 168, XXX, XXX };
static byte gwip[] = { 192, 168, XXX, XXX };
```



```
Sensor1_Micro2_con_IP_manual Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Sensor1_Micro2_con_IP_manual$
#include <enc28j60.h>
#include <EthernetCard.h>
#include <net.h>

#include <LiquidCrystal.h>

#include <DHT.h>
#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT11

LiquidCrystal lcd(4, 5, 6, 7, 8, 9);
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
// Dirección MAC address, debe se unica en la red LAN-WAN
//static byte mymac[] = { 0x00, 0xE0, 0xD8, 0x18, 0x29, 0xF3 }; //mac ups 00-E0-D8-18-29-F3
static byte mymac[] = { 0x00, 0x00, 0x21, 0x04, 0x68, 0x04 }; //mac sensor 00-00-21-04-68-01 // El ultimo octeto es igual a número de sensor
static byte hisip[] = { 192,100,172,198};
static byte myip[] = { 192,168,62,245 };
static byte gwip[] = { 192,168,62,1 };

byte Ethernet::buffer[700];
static uint32_t timer;
const char website[] PROGMEM = "tareas.inacep.mx"; //Dirección del servidor MySQL donde está la base de datos

// cuando la solicitud del cliente está completa
static void my_callback (byte status, word off, word len) {
  Serial.println("****");
  Ethernet::buffer[off + 300] = 0;
  Serial.print((const char*) Ethernet::buffer + off);
  Serial.println("****");
}

Guardar Cancelado.
25 Arduino Uno en COM7
```

Figura 42. Programación de microcontrolador mediante aplicación para Arduino

La siguiente programación muestra como en el display inicia el sensor y espera a que se establezca la comunicación con el servidor:

```
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  dht.begin();
  Serial.println(F("\n[Termometro-IP]"));
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" SENSOR TERMICO ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("CONEXION POR RED");
}
```

```

delay(2000);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("ESTABLECIENDO...");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.blink();
lcd.print("CONEXION ----->");
delay(2000);
if (ether.begin(sizeof Ethernet::buffer, mymac, 10) == 0)
Serial.println(F("Failed to access Ethernet controller"));
ether.staticSetup(myip, gwip);
ether.copyIp(ether.hisip, hisip);
ether.printIp("Server: ", ether.hisip);
while (ether.clientWaitingGw())
ether.packetLoop(ether.packetReceive());
}

```

Finalmente se establece el ciclo de comunicación con el servidor de base de datos con el apoyo de un “script²¹” desarrollado en PHP que se encarga de hacer los registros en la tabla MySQL en los campos correspondientes para la temperatura y humedad.

Cuando el sensor DHT11/22 registra un dato, lo muestra en el display en la primera línea con el título de “TEMPERATURA:” más su valor y en la segunda línea la “HUMEDAD:” con su valor, para posteriormente realizar un algoritmo de conversión de datos para separar la información de cada registro en su correspondiente a unidades y decenas que al final serán enviados en formato de caracteres hexadecimales con la instrucción PSTR.

El script desarrollado en PHP que realiza los registros en la base de datos se describe con más detalle en el siguiente capítulo.

²¹ En informática, un script, es una secuencia de comandos, es un término informal que se usa para designar un lenguaje de programación que se utiliza para manipular, personalizar y automatizar las instalaciones de un sistema existente.

CAPÍTULO 5

PANEL DE MONITOREO

Como se menciona en la descripción general de este proyecto, fue importante incorporar un sistema lógico, donde la información que se genera de la etapa física de sensado de temperatura y humedad se envíe y se almacene en una base de datos.

Para cubrir el objetivo del proyecto, se utilizó un software libre como los es **MySQL**²² instalado sobre un servidor con sistema operativo **Debian**²³ y con registros a intervalos de tiempo configurables, además de un desarrollo de página web con programación en **PHP**²⁴ y **HTML**²⁵ para mostrar gráficos en tiempo real y el envío de alarmas por correo electrónico cuando los valores óptimos estén fuera de rango por falla o mal funcionamiento en los sistemas de aire acondicionado dentro de un CDTIC.

²² MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS) de código abierto respaldado por Oracle y basado en el lenguaje de consulta estructurado (SQL).

²³ Debian es un sistema operativo basado en Linux adecuado para un amplio rango de dispositivos incluyendo portátiles, ordenadores de escritorio y servidores.

²⁴ PHP es un lenguaje de programación interpretado del lado del servidor y de uso general que se adapta especialmente al desarrollo web.

²⁵ El Lenguaje de Marcado de Hipertexto (HTML) es el código que se utiliza para estructurar y desplegar una página web y sus contenidos.

5.1 Base de datos con MySQL [3]

Un potente manejador de bases de datos para cualquier proyecto de software donde se requiera almacenar información en grandes cantidades y sobre todo que se pueda manipular esa información para objetivos específicos es sin duda MySQL.

En este proyecto no vamos a adentrarnos en el estudio y manejo de MySQL ni es el proceso de instalación y configuración, sino que para nuestro diseño lo utilizamos de manera práctica para el almacenamiento y gestión de la información que es enviada desde la etapa física del sensor de temperatura y humedad.

La base de datos se instaló previamente en un equipo servidor con sistema operativo Debian que actualmente es la versión 11.2 para posteriormente dejar todo configurado para que se pueda procesar la información.

Para la estructura de la base de datos se crearon 2 tablas, en la primera tabla (config) se describen los campos: *sensor*, *nombre*, *minregistro* y *ultimo_dat*, donde se configuran el número de sensor, el nombre que va a tomar relacionado con la ubicación física del CDTIC y el intervalo de tiempo en minutos que queremos que esté registrando y que actualmente se tiene para almacenar cada 15 minutos.



The screenshot shows a database management interface with two tabs: 'Estructura de tabla' (Table Structure) and 'Vista de relaciones' (Relationship View). The 'Estructura de tabla' tab is active, displaying a table structure for a table named 'config'. The table has four columns: '#', 'Nombre', 'Tipo', 'Cotejamiento', 'Atributos', 'Nulo', 'Predeterminado', and 'Comentarios'. The rows are as follows:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios
<input type="checkbox"/> 1	sensor 	int(2)			No	Ninguna	
<input type="checkbox"/> 2	<u>nombre</u>	text	latin1_swedish_ci		No	Ninguna	nombre del centro de datos
<input type="checkbox"/> 3	<u>minregistro</u>	int(2)			No	5	Minutos entre registros
<input type="checkbox"/> 4	<u>ultimo_dat</u>	date			No	Ninguna	

Figura 43. Tabla config

Para la segunda tabla (datos), se describen los campos *sensor*, *fecha*, *tmp*, *hum*, donde se van a ir registrando cada uno de los datos como son el número de sensor asociado al CDTIC, la fecha del registro con la hora, así como la temperatura y humedad de cada dato:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra
<input type="checkbox"/> 1	id	int(11)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/> 2	sensor	int(2)			No	Ninguna		
<input type="checkbox"/> 3	fecha	timestamp			No	current_timestamp()		
<input type="checkbox"/> 4	tmp	int(2)			No	Ninguna		
<input type="checkbox"/> 5	hum	int(2)			No	Ninguna		

Figura 44. Tabla datos

5.2 Script de registro de datos

En base a la programación del microcontrolador ATmega328P, se tiene una instrucción que envía la información de cada registro de temperatura y humedad a través del comando PSTR:

```
ether.browseUrl(PSTR("/temperatura/registrar_tmp.php?sen=1"), Datos, website, my_callback);
```

La instrucción anterior envía un paquete con los datos del sensor a una dirección `http://` y por medio de un archivo remoto “registrar_tmp.php” ubicado en la carpeta “temperatura” que es el script de programación en PHP y con el método `$_GET` permite recuperar parámetros desde la URL²⁶, los parámetros enviados se indican al inicio del archivo:

²⁶ URL significa Uniform Resource Locator y es la dirección única y específica que se asigna a cada uno de los recursos disponibles en internet para que puedan ser localizados por el navegador y visitados por los usuarios.

```

<?php
date_default_timezone_set('America/Mexico_City');
$valor1 = $_GET['sen'];
$valor2 = $_GET['tem'];
$valor3 = $_GET['hum'];

```

Con los datos recuperados se pueden procesar para realizar el registro de los datos en la tabla *config* de MySQL:

```

//INICIA LA CONEXION A LA BASE DE DATOS
$conexion = new mysqli("localhost", "usuario", "contraseña", "centro_datos");

//busca el intervalo de tiempo preconfigurado para registro de cada sensor de la tabla de configuración
centro_datos - config
$dato_intervalo = "SELECT * FROM `config` WHERE `sensor`= $valor1";
$buscari = mysqli_query($conexion, $dato_intervalo) or die(mysqli_rror());
$datoi = mysqli_fetch_assoc($buscari);
$intervalo = $datoi['minregistro'];
$site = $datoi['nombre'];
$dato_sensor = "SELECT * FROM `datos` WHERE `sensor`=$valor1 ORDER BY fecha DESC LIMIT 0,
1";
$buscar = mysqli_query($conexion, $dato_sensor) or die(mysqli_rror());
$dato = mysqli_fetch_assoc($buscar);
$ultima_fecha= $dato['fecha']; //fecha del último registro para el sensor a registrar
$dato_tmp= $dato['tmp']; //tempeatura del último registro para el sensor a registrar
$fecha1=strtotime($ultima_fecha);
$fecha2=striotime(date('H:i:s'));
$fecha3=date('H:i:s');

```

Si se procesa un valor de temperatura mayor o igual a 28 grados, automáticamente generará un correo de alarma para las cuentas previamente registradas, como se muestra a continuación en el script en PHP:

```

//**** INSTRUCCION DE ENVIO DE ALARMA CUANDO LA TEMPERATURA SUPERA EL UMBRAL DE
28 GRADOS ****
    if ($valor2 >= 28) {
        //Titulo del mensaje
        $mail->Subject = 'Alarma de temperatura en: '.$site.' !!!!';

        //Descripción del mensaje
        $mail->Body = 'PROBLEMAS CON LA TEMPERATURA Y/O HUMEDAD!!!
        Se ha detectado un incremento de Temperatura y/o Humedad Relativa
        a) La Temperatura registrada es de: '.$valor2.'° C

        Enlace al gráfico de Temperatura con los últimos 25 registros:
        http://servidor/temperatura/fusioncharts/grafico_2D.php?sen='.$valor1.'&dat=25

        b) La Humedad registrada es de: '.$valor3.'%

        Enlace al gráfico de Humedad con los últimos 25 registros:
        http://servidor/temperatura/fusioncharts/grafico_1.php?sen='.$valor1.'&dat=25';
        //Envía el mensaje y revisas si hay errores
        if (!$mail->send()) {
            echo 'Mailer Error: ' . $mail->ErrorInfo;
        }
        else {
            echo 'Mensaje de correo enviado!';
        }
    }
}

```

5.3 Panel o tablero de monitoreo con HTML-PHP

Todos y cada uno de los registros almacenados en la tabla de MySQL se pueden procesar para generar gráficos que permitan ser analizados en tiempo real, con cada sensor que se tiene instalado en los centros de datos, se diseñaron gráficos por medio del software “Fusioncharts

ver.3.11.3²⁷” para Linux que permite mostrar varios gráficos de tipo lineal, de barras, Gauge entre otros para presentar los datos obtenidos de la etapa física del “*sensor de temperatura y humedad*”.

Los registros almacenados en la base de datos: “centro_datos” con MySQL permiten generar modelos de gráficos diversos y ser presentados en un panel de monitoreo o Dashboard.



Figura 45. Panel de monitoreo o Dashboard

²⁷ <https://docs.fusioncharts.com/archive/3.11.3/>

5.3.1 Gráfico de barras

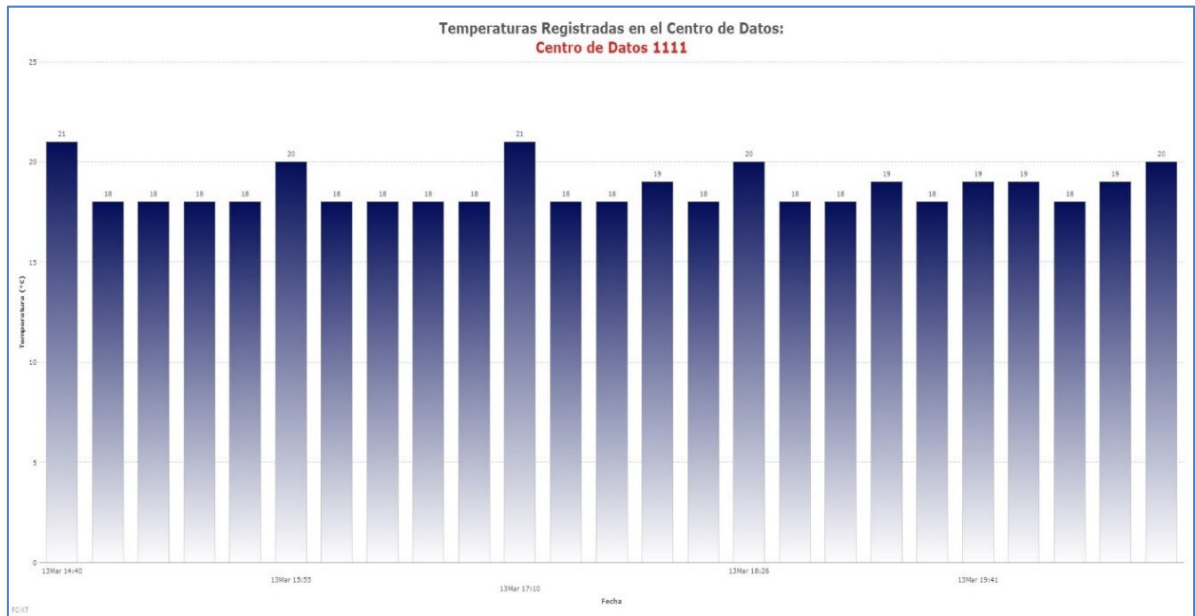


Figura 46. Gráfico de barras para mostrar la temperatura con 25 datos

Este gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en un diseño de barras que indican la fecha y la temperatura alcanzada en el CDTIC de nombre: “Centro de Datos 1111” donde está instalado el sensor 2 que se muestra como un ejemplo de 25 datos del 13 de marzo de 2023.

5.3.2 Gráfico lineal

También se puede generar un gráfico con el comportamiento de la humedad en un diseño lineal que para este ejemplo se presentan los datos de la misma fecha del 13 de marzo de 2023 para el sensor 2:

Para el gráfico anterior se indica en color azul, el rango de temperatura recomendado por la norma ASHRAE donde propone como valores óptimos de los sistemas de climatización de 18 a 27 grados, de manera que un valor superior a los 27 grados y hasta un máximo de 40 como se observa en color amarillo, se estará en el umbral de considerar una temperatura muy elevada hasta que al pasar a un valor por encima de los 40 grados, se estará en riesgo de que alguno de los equipos puedan presentar fallas principalmente en el hardware.

5.4 Alarmas

Finalmente, como un elemento fundamental en el diseño del sensor de temperatura y humedad, es sin duda la etapa de alarmas tanto visuales como auditivas para activar mecanismos oportunos de advertencia en caso de fallas de los equipos de climatización por no mantener los valores óptimos para la temperatura y humedad dentro de un CDTIC.

5.4.1 Alarma auditiva

La alarma auditiva se diseñó para que en caso de estar dentro del CDTIC o muy cercano, nos avise de manera sonora con tonos de audio de entre 70 y 85 decibeles que hay una falla y que es necesario activar los protocolos de atención.

Con la incorporación de un zumbador conectado a la salida del pin 4 del MCU ATmega328P y con el algoritmo de programación descritos en los capítulos 3.5.7 y 4.4 respectivamente, se activa un tono de 2000 Hz con periodo de repetición de cada 2 segundos para generar una alarma audible cuando se detecta que hay una elevación de la temperatura mayor a 27 grados.

5.4.2 Alarma visual

Es aquella alarma que se puede observar y/o detectar cuando al visualizar los gráficos de barras o gauge se identifica que los rangos mostrados no son los óptimos y habrá que tomar acciones para atender y dar seguimiento al problema de temperatura.

Al observar la tendencia en el aumento de los niveles de las barras en el gráfico para un determinado tiempo y cuando ha habido fallas registradas con anterioridad, se ha dado seguimiento a los equipos de aire acondicionado y se han tomado acciones para el mantenimiento correctivo que se tenga que aplicar.

Un ejemplo de lo anterior es cuando se han presentado fallas en los equipos y ha sido necesario observar si las variaciones son considerables en los equipos de aire acondicionado o si los valores presentados son estables.

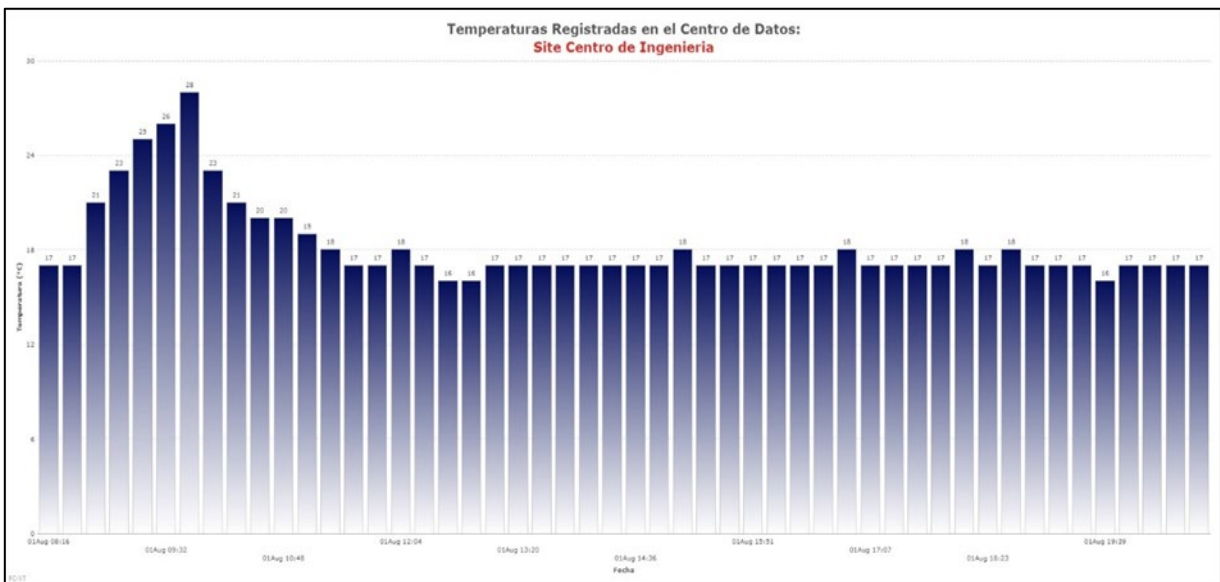


Figura 49. Gráfico de barras con problemas de temperatura



Figura 50. Sistema de aire acondicionado en Centro de Datos

5.4.3 Alarma por correo

El más importante sistema de aviso por si hay alguna falla en los equipos de aire acondicionado, es el que se genera como envío por correo electrónico a partir del script en PHP.

Cuando un dato de temperatura y humedad es enviado a la base de datos y este supera los 27 grados centígrados, se envía a las cuentas de correo previamente programadas, un mensaje donde se advierte que se ha detectado un incremento de temperatura y que habrá que darle seguimiento.

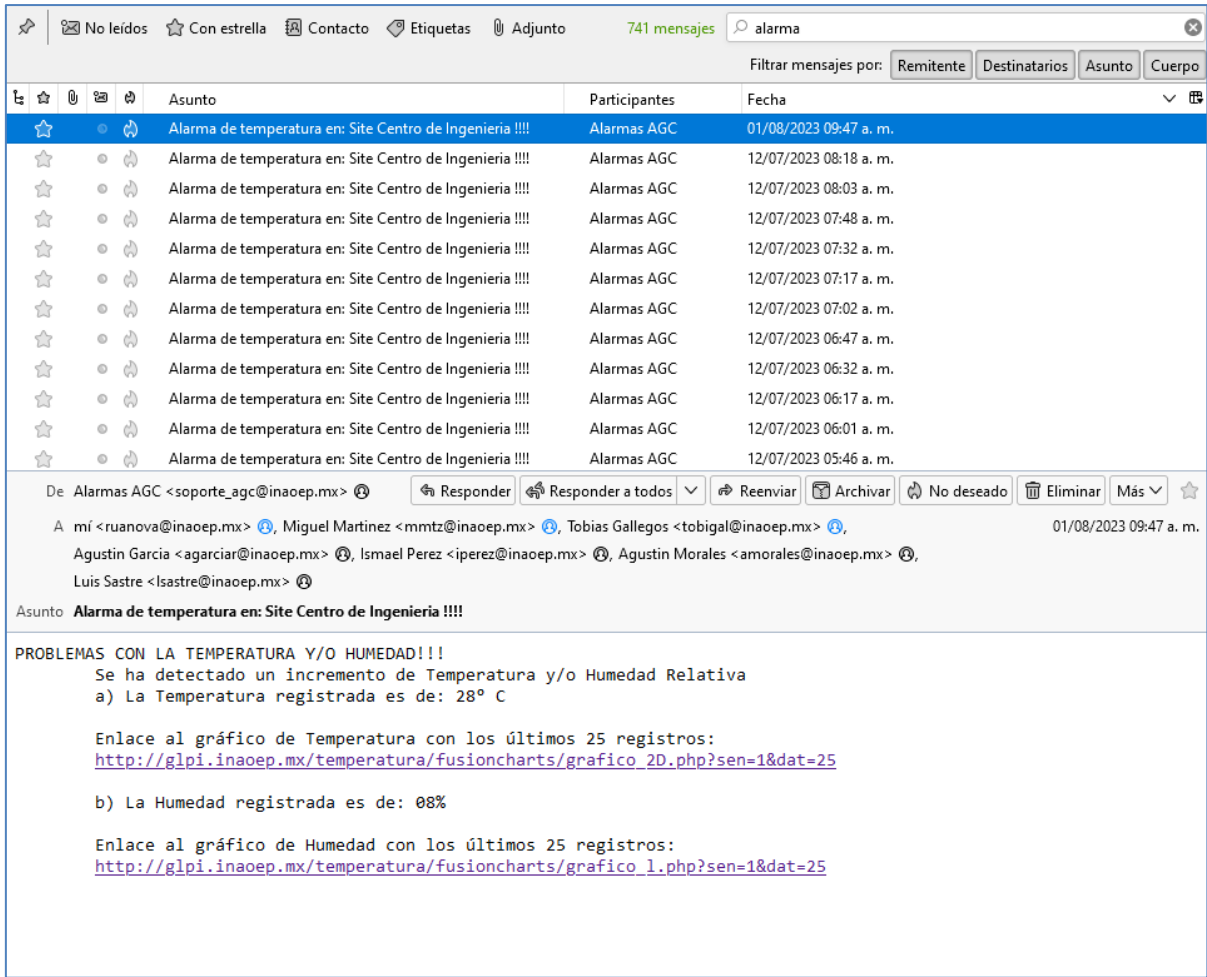


Figura 51. Mensaje de alarma enviada por correo electrónico

La captura de pantalla del mensaje por correo electrónico muestra que fue enviado el 1º de agosto a las 09:47 indicando que “Se ha detectado un incremento de Temperatura y/o Humedad Relativa” con un valor de 28° C.

El proceso de envío por correo electrónico se realiza con la configuración en el equipo servidor Linux con la librería PHPMailer 6.2 que nos permite, entre otras funcionalidades,

establecer una conexión SMTP²⁸ (Simple Mail Transfer Protocol) con un servidor de correo y que será quién envíe realmente los correos electrónicos.

Esta librería se instala en el servidor Linux Debian que es llamada desde el archivo “registrar_tmp.php” para iniciar sesión en la cuenta de correo electrónico del Servidor Institucional del INAOE que se encarga de enviar las alarmas a las cuentas de los usuarios que tendrán que tomar acciones ante cualquier incidencia que se presente.

El envío de un correo electrónico ha permitido atender de forma oportuna cualquier incremento negativo en el comportamiento de los equipos de aire acondicionado en horas o días fuera del horario laboral, cuya solución ha sido desde acudir al centro de trabajo para corregir el problema o apagar remotamente los equipos que son susceptibles a fallas por el incremento considerable de la temperatura.



Figura 52. Evaporadora escarchada en el Centro de Datos “Micro2”

²⁸ SMTP significa protocolo simple de transferencia de correo. Se trata de un protocolo de comunicación que se utiliza para enviar y recibir mensajes de correo electrónico a través de Internet.

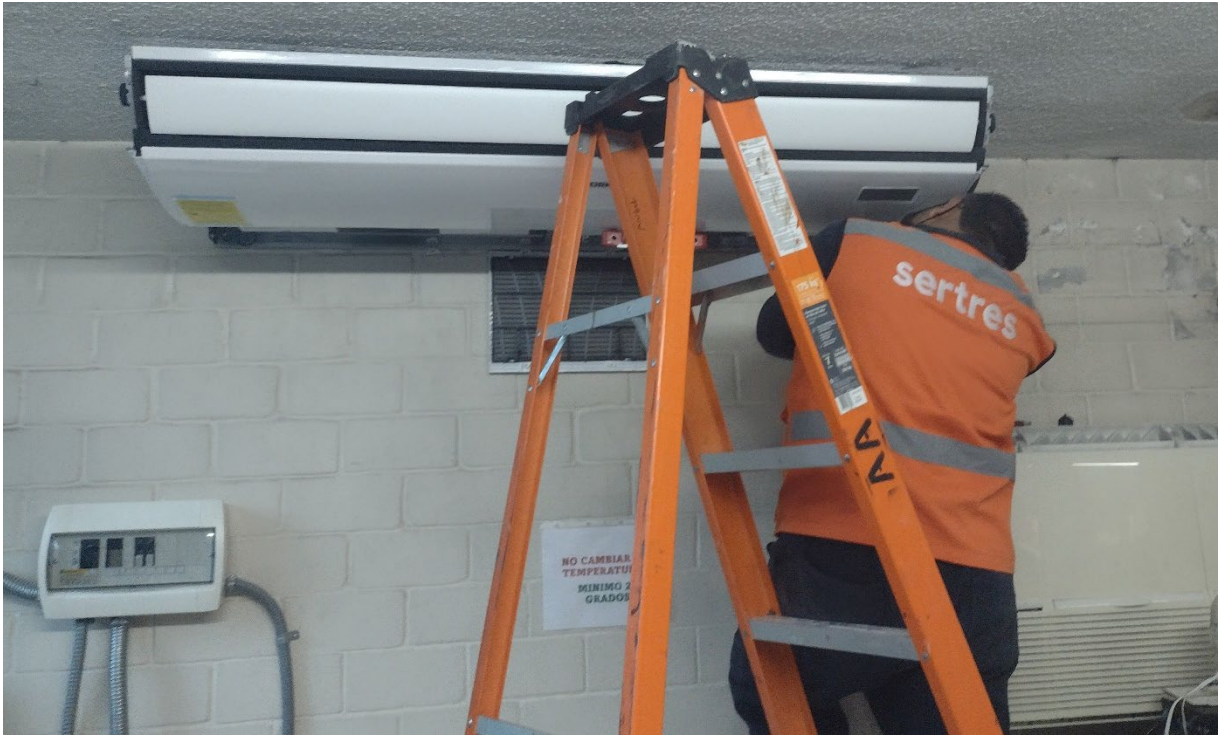


Figura 53. Cambio de equipo de aire acondicionado por falla

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y CONCLUSIONES

6.1 Pruebas y actualizaciones

Desde que se instaló el primer sensor de temperatura y humedad en el CDTIC Micro2 (ver. Imagen 52), se han realizado pruebas, modificaciones y/o actualizaciones tanto en el diseño físico de la tarjeta principal, en la caja de montaje y en el software que han llevado a mejoras significativas.



Figura 54. Primer sensor de temperatura y humedad instalado en 2016

6.1.1 Simulación en Proteus

Una de las pruebas para validar el correcto funcionamiento de cada una de las etapas del diseño propuesto y conseguir los resultados requeridos, fue por medio de una simulación con software “Proteus 8”²⁹

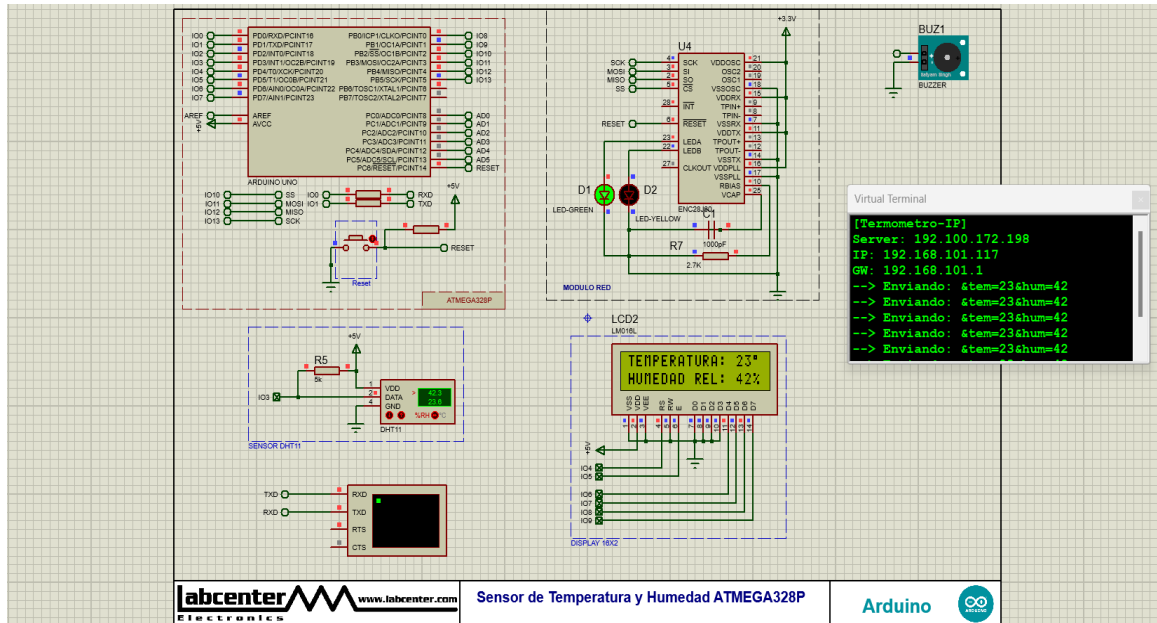


Figura 55. Simulación de los módulos en Proteus

6.1.2 Pruebas de temperatura

Después de haber realizado múltiples pruebas con el dispositivo antes de su instalación y al iniciar su operación, se realizaron mediciones varias para determinar la confiabilidad de los datos registrados durante la operación del sensor.

²⁹ Proteus es un software desarrollado por Labcenter Electronics (www.labcenter.com) que permite diseñar y simular planos eléctricos de cualquier circuito electrónico, con elementos muy variables, desde elementos pasivos hasta microcontroladores.

Para validar la exactitud de los datos de temperatura y/o humedad, se realizaron algunas pruebas con equipos medición como los siguientes:

- 1) **Pruebas de temperatura con termómetro infrarrojo:** se hicieron múltiples pruebas de temperatura con un termómetro infrarrojo “Etekcity lasergrip 1080”³⁰ para establecer el grado de confiabilidad del sensor de temperatura y humedad instalado en los centros de datos del INAOE.

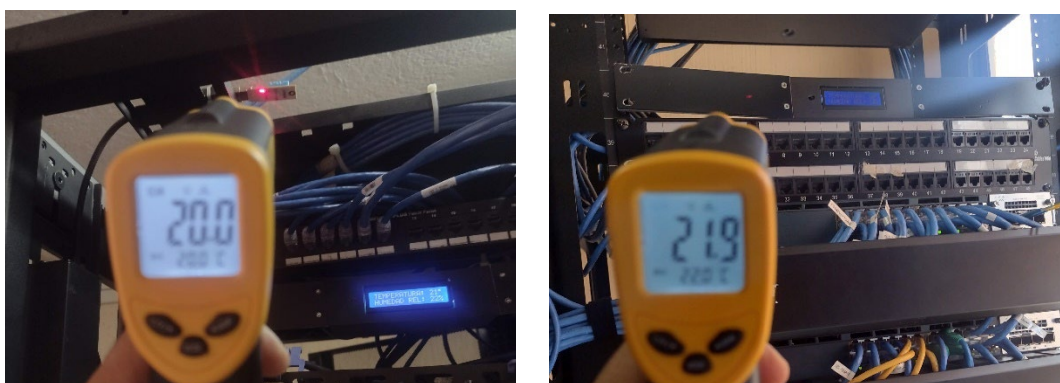


Figura 56. Mediciones de temperatura con termómetro infrarrojo

También se tomaron las lecturas de los sensores instalados en las tarjetas de los aires acondicionados de las marcas “Carrier y Emerson” que muestran en su display la temperatura y/o humedad.

Los valores obtenidos por el termómetro infrarrojo, así como por los sensores instalados con los aires acondicionados tuvieron una diferencia máxima de 1.8 grados para la temperatura con respecto al sensor operando en cada rack y que corresponde a lo esperado como se indica en las especificaciones del módulo DHT11.

³⁰ <https://etekcity.com/products/infrared-thermometer-lasergrip-1080>



Figura 57. Sensor de temperatura embebidos en los equipos de aire acondicionado

6.1.3 Mejoras y actualizaciones

A partir de la puesta en operación de los sensores instalados en los centros de datos, se han aplicado diversas mejoras y actualizaciones como las siguientes:

- 1) **Modificación en el montaje para rack:** Se modificó el diseño de la caja de montaje para optimizar su implementación al manejar un diseño con soportes de montaje lateral como el que se observa en la figura 39.
- 2) **Sensor DHT22:** Se instaló recientemente como parte de las pruebas y mejoras un módulo sensor de temperatura DHT22 que tiene una precisión de $\pm 1^\circ \text{C}$ para el dispositivo ubicado en el CDTIC Micro1.
- 3) **Etapa de regulación a 5 volts:** Se eliminó la etapa de regulación de 5 volts en la PCB para conseguir utilizar menos componentes y con ello incorporar un adaptador USB comercial de 5 volts o poder conectar el sensor de temperatura y

humedad a un puerto USB de cualquier equipo instalado en los CDTIC que ofrece los 5 volts de DC requeridos.

- 4) **Actualización del sistema operativo Linux:** con las diferentes actualizaciones que se han presentado con los sistemas operativos Linux y particularmente con Debian, el sistema operativo del servidor se ha actualizado a la versión 11.2.

- 5) **Actualización de la base de datos:** con las nuevas actualizaciones que se han publicado por MySQL como base de datos de código abierto, ha sido necesario actualizar el servidor a la versión 7.4 y con ello fueron necesarios realizar cambios en la programación del almacenamiento de los datos en el archivo de PHP (registro_tmp.php).

- 6) **Mejoras en la programación del Dashboard:** la presentación de la página de desarrollo del panel de información ha tenido cambios orientados a un mejor diseño de los gráficos y sobre todo se logró una mejora en la visualización para diferentes dispositivos con la incorporación de Bootstrap en la programación HTML-PHP, esta herramienta permite crear una interfaz para adaptación del contenido de la web a los diferentes tipos de pantallas como un monitor 16:9, pantalla de Tablet o de celular.

6.2 Conclusiones

A medida que se pensó en el diseño y la implementación del presente proyecto para conseguir que la climatización en cualquier CDTIC que existe en el INAOE tenga un sistema de advertencia que permita tomar acciones inmediatas, puedo considerar que se llegaron a las siguientes conclusiones:

- 1) El sistema de monitoreo remoto TCP/IP de temperatura y humedad es totalmente funcional y opera las 24 horas y los 365 días al año en varios centros de datos del INAOE.
- 2) Que los equipos de la UTIC (Unidad de Tecnologías de la Información y Comunicaciones) no presenten fallas ocasionadas por problemas en el incremento de la temperatura y humedad y que puedan repercutir con problemas asociados a la continuidad de la operación.
- 3) Logros en la productividad, al impedir que los equipos instalados en los centros de datos tengan problemas físicos irreversibles debido a fallas presentadas por incrementos considerables de la temperatura.

Se tiene establecido el 99% para la disponibilidad de los equipos críticos como la red del INAOE y servidores que requieren estar trabajando 24/7 sin interrupción.

- 4) No es posible cuantificar los ahorros conseguidos al tomar acciones inmediatas para evitar daños en equipos alojados en los centros de datos, lo que ha permitido evitar que una interrupción afecte la productividad del INAOE.

Desde que se instaló el primer sensor de temperatura y humedad en 2016, se han tomado acciones oportunas que en tiempos anteriores representaron costos muy elevados al haberse presentado fallas en las tarjetas principales (motherboards), fuentes y discos duros de equipos instalados como servidores, switches, ruteadores, etc.

- 5) Toma de decisiones acertadas al dar seguimiento a las fallas presentadas con los equipos de climatización, que han permitido acciones desde el apagado de los equipos instalados en los CDTIC hasta el cambio necesario y justificado de los equipos de aire acondicionado.

Muchas de las fallas presentadas en equipos de aire acondicionado han tenido solución con el mantenimiento preventivo y correctivo, cuando no ha sido posible obtener los rangos óptimos de temperatura y humedad, fue necesario la sustitución por unos nuevos.

- 6) En la parte profesional ha sido sin duda el poder implementar muchos de los conocimientos adquiridos en la licenciatura de la Facultad de Electrónica que anteriormente formaba parte de la Escuela de Ciencias Físico Matemáticas.
- 7) No dejar de seguir aprendiendo cada vez que hay un proyecto de éstas características y no solo donde se aplique el diseño riguroso de un circuito electrónico, sino abarcar más campos del conocimiento, como el diseño en sistemas CAD 3D para la parte del montaje, sistemas de diseño de PCB como Fusión360, Eagle o ExpressPCB para los circuitos electrónicos, lenguajes de programación en PHP-HTML, sistemas operativos como Debian para Linux entre otros y un gestor de bases de datos como MySQL por mencionar los que intervinieron de manera directa en el desarrollo de éste proyecto.

- 8) En la parte laboral el reconocimiento de mis compañeros de trabajo a mi capacidad y esfuerzo asociados con los conocimientos adquiridos en otras empresas que a lo largo de mi vida se han nutrido y consolidado.

TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Dispositivo para montaje en rack que muestra en una pantalla 16x2 la información de temperatura y humedad.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. Etapa de software para almacenamiento de datos, generación de gráficos y envío de alarmas por correo.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. Diagrama a bloques que describe la parte física y lógica.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4. Conexión típica para el sensor DHT11 [8].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5. Secuencia de datos de 40 bits con la información de la temperatura y humedad.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6. Proceso general de comunicación [8].....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7. Sensor de temperatura y humedad DHT11.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 8. Sensor de Temperatura y humedad DHT22.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9. Módulo Sensor para conectarse por puerto USB.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10. Diseño de la placa de circuito impreso del módulo USB.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11. Módulo sensor USB.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 12. Circuito integrado Atmel ATmega328P.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 13. Pines de conexión ATmega328P.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 14. Módulo LCD 16X2 para mostrar la temperatura y la humedad de forma visual.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 15. Módulo ENC28J60 para envío de información.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 16. Tarjeta Ethernet ENC28J60.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 17. Recepción de datos por TCP/IP al Servidor con MySQL.....</i>	<i>37</i>

<i>Figura 18. Sensor para una conexión LAN/WAN</i>	<i>38</i>
<i>Figura 19. Diagrama general del Sensor de T&H.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 20. Diagrama del circuito de alimentación 5V y 3.3V.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 21. Fuente de alimentación en la PCB.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 22. Diagrama de alimentación, oscilación y reset para el ATmega328P.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 23. Conexión del microcontrolador ATmega328P en la PCB</i>	<i>42</i>
<i>Figura 24. Diagrama de conexión USB</i>	<i>43</i>
<i>Figura 25. Conexión del puerto USB doble en la PCB.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 26. Diagrama de conexión del display LCD 16X2 [9].....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 27. Diagrama de conexión LCD al Microcontrolador.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 28. Bloque de conexión 1X16 en la PCB para el LCD.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 29. Diagrama de conexión del puerto 2X5 al ATmega328PP.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 30. Conector 2X5 para la tarjeta de comunicación en la PCB.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 31. Conexión del buzzer.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32. Diseño de la tarjeta principal.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33. Imagen 3D de la tarjeta con los componentes en su primera versión</i>	<i>50</i>
<i>Figura 34. Tarjeta PCB con los componentes soldados en su primera versión</i>	<i>50</i>
<i>Figura 35. Centro de Datos en INAOE</i>	<i>52</i>
<i>Figura 36. Tabla de parámetros de Temperatura y humedad ICREA-ASHRAE</i>	<i>57</i>
<i>Figura 37. Diseño del montaje para rack en AutoCAD.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 38. Diseño de la tapa del montaje en rack</i>	<i>59</i>
<i>Figura 39. Montaje realizado con impresora 3D.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 40. Sensor montado en Rack de 45U en Centro de Datos.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 41. Diagrama de flujo del programa para el microcontrolador.....</i>	<i>61</i>

<i>Figura 42. Programación de microcontrolador mediante aplicación para Arduino</i>	<i>63</i>
<i>Figura 43. Tabla config.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 44. Tabla datos</i>	<i>67</i>
<i>Figura 45. Panel de monitoreo o Dashboard.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 46. Gráfico de barras para mostrar la temperatura con 25 datos.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 47. Gráfico lineal de la humedad relativa con 25 datos</i>	<i>72</i>
<i>Figura 48. Gráfico tipo gauge con la información de 13 de marzo de 2023</i>	<i>72</i>
<i>Figura 49. Gráfico de barras con problemas de temperatura</i>	<i>74</i>
<i>Figura 50. Sistema de aire acondicionado en Centro de Datos.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 51. Mensaje de alarma enviada por correo electrónico</i>	<i>76</i>
<i>Figura 52. Evaporadora escarchada en el Centro de Datos “Micro2”</i>	<i>77</i>
<i>Figura 53. Cambio de equipo de aire acondicionado por falla</i>	<i>78</i>
<i>Figura 54. Primer sensor de temperatura y humedad instalado en 2016.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 55. Simulación de los módulos en Proteus</i>	<i>80</i>
<i>Figura 56. Mediciones de temperatura con termómetro infrarrojo.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 57. Sensor de temperatura embebidos en los equipos de aire acondicionado.....</i>	<i>82</i>

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARGOLIS, Michael y WELDIN Nicholas. Arduino Cookbook, 2ª. Ed, USA: O'Reilly Media Inc., 2012. 599p.
- [2] BELL, Charles. Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi, 1ª. Ed. USA: Apress, 2013. 345p.
- [3] Welling, Luke y Thomson Aura. Desarrollo web con PHP y MySQL - Traducción José Luis Gómez Celador. -- Madrid: Ediciones Anaya Multimedia (Grupo Anaya S. A.): 2005, c2005, 974 p.
- [4] ICREA. Norma Internacional para la Construcción e instalación de Equipamiento de Ambientes para el manejo de equipo de Tecnologías de la Información y Similares ICREA-std-131-2015, Primera Ed. [Ciudad de México] 2015, Web: <http://www.icrea-international.org>
- [5] Atmel. Microcontroller ATmega328P-328P Summary [Datasheet en línea]. Revisión A. San José, CA (USA) updated: 2020. Disponible en World Wide Web: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061B.pdf> 653p.
- [6] Arduino Reference - Arduino Reference. (s/f). Arduino.cc. Recuperado el 13 de octubre de 2022, de <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- [7] The Reliable Chart Library for Professionals. (Dakota del Norte). Fusioncharts.com. Recuperado el 14 de octubre de 2022, de <https://www.fusioncharts.com/>

- [8] (PDF) DHT11 Datasheet - Humidity & Temperature Sensor. (n.d.).
<http://www.datasheet.es/PDF/785590/DHT11-pdf.html>
- [9] AG Electrónica. (descarga del 27 de agosto de 2022). Ficha técnica Display LCD 1602D.
<https://agelectronica.lat>. <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/D/DYS-1602A-BLANCO-AZUL.PDF>