



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**SISTEMA DE CONTROL PARA LA INCUBADORA
NEONATAL OHIO IC EN LA EMPRESA
ANDREAS REINHARD UTILIZANDO
LA PLATAFORMA
OPEN-SOURCE
ARDUINO**

Autor: López, Miguel
C.I.:25.985.707

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE CONTROL PARA LA INCUBADORA NEONATAL OHIO IC
EN LA EMPRESA ANDREAS REINHARD UTILIZANDO
LA PLATAFORMA OPEN-SOURCE ARDUINO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRONICO**

Autor: López, Miguel
C.I.:25.985.707
Tutor: Ing. Javier Iglesias

San Diego, octubre 2019



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRONICA

APROBACION DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Javier Alexander Iglesias Padrón, portador(a) de la cédula de identidad N° 25.332.318, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el(la) ciudadano(a) Miguel Avilio López Alvarado, portador(a) de la cédula de identidad N° 25.985.707, titulado **"SISTEMA DE CONTROL PARA LA INCUBADORA NEONATAL OHIO IC EN LA EMPRESA ANDREAS REINHARD UTILIZANDO LA PLATAFORMA OPEN-SOURCE ARDUINO"**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Electrónica, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 10 días del mes de Marzo del año 2020.

Ing. Javier A. Iglesias. P.
C.I: 25.332.318

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	Pp. IX
INDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
LA EMPRESA	
1.1 Reseña Histórica.....	3
1.2 Misión.....	3
1.3 Visión	4
1.4 Ubicación actual	4
1.5 Valores.....	4
1.6 Descripción.....	5
1.7 Servicios	5
1.8 Estructura organizacional	5
CAPITULO II	
EL PROBLEMA	
2.1 Planteamiento del Problema.....	6
2.2 Formulación del Problema	7
2.3 Objetivos de la Investigación	7
2.3.1 Objetivo general.....	7
2.3.2 Objetivos específicos	7
2.4 Justificación de la investigación.....	7

CAPITULO III

MARCO TEORICO

3.1 Antecedentes de la Investigación	9
3.2 Bases Teóricas	12
3.2.1 Incubadora Neonatal.....	13
3.2.2 Normas de fabricación y mantenimiento de incubadoras neonatales	13
3.2.3 Componentes electrónicos del cual dispone la incubadora OHIO IC	16
3.2.4 Componentes planteados para el control y monitoreo de la incubadora OHIO IC	22
3.2.5 PID (Control proporcional, integral y derivativo)	26
3.2.6 Definición de Términos Básicos.....	32

CAPITULO IV

MARCO METODOLOGICO

4.1 Tipo de la Investigación	34
4.2 Diseño de la Investigación	35
4.3 Nivel de la Investigación.....	35
4.4 Población y Muestra.....	36
4.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos	36
4.5.1 Lista de Cotejo.....	36
4.5.2 Observación Directa	37
4.5.3 Revisión Documental.....	37
4.6 Técnicas de Análisis de Resultados.....	37
4.7 Fases Metodológicas	37

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 FASE I: Diagnóstico del funcionamiento de una incubadora neonatal OHIO IC.	40
5.1.1 Descripción física de la incubadora.....	42
5.1.2 Sistema de Control.....	43
5.1.3 Sistema de Alarmas	45
5.1.4 Accesorios para la Incubadora.....	46
5.1.5 Descripción de cómo usar la Incubadora.....	48
5.1.6 Estado Actual de la Incubadora	49
5.2 Fase II. Conocer los parámetros operativos de la incubadora neonatal OHIO IC.	50
5.2.1 Resistencia Eléctrica.....	51
5.2.2 Ventilador Centrifugo.....	52
5.2.3 Sensores de Temperatura (Termistores del Tipo NTC).....	54
5.2.4 Pantalla LCD con Modulo I2C.....	56
5.3 Fase III. Diseño del sistema de control para la incubadora neonatal OHIO IC.	58
5.3.1 Estructura General de la Incubadora Neonatal	58
5.3.2 Estructura del Sistema Mecánico.....	59
5.3.3 Descripción del Sistema de Control de Temperatura de la Incubadora.....	60
5.3.4 Dimensionamiento de los elementos principales de la incubadora	61
5.3.5 Diseño del Sistema de Control	75
5.3.5 Diseño del PCB.....	79
5.4 FASE IV. Determinación de la factibilidad técnica, económica, ambiental y social de la propuesta.	83

5.4.1 Factibilidad Técnica.....	83
5.4.2 Factibilidad Económica	84
5.4.3 Factibilidad Ambiental y Social	85

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.....	86
6.2 Recomendaciones	87

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pp.
1. Organigrama de la empresa ANDREAS REINHARD.....	5
2. Sensor de temperatura cutáneo.....	17
3. Display 7 segmentos.....	18
4. Resistencia eléctrica.....	20
5. Ventilador centrifugo de 140mm.....	20
6. Funcionamiento del relé de estado sólido.....	21
7. Relé de estado sólido.....	22
8. Arduino Uno	24
9. Dimensiones del Arduino Uno en mm.....	24
10. Arduino Mega 1280.....	25
11. Dimensiones del Arduino Mega.....	25
12. Conexión del Mosfet al Arduino para el giro de un motor.....	26
13. Control proporcional.....	27
14. Respuesta del control proporcional	27
15. Sistema de control integral.....	28
16. Señal de Acción derivativa.....	28
17. Controlador derivativo.....	29
18. Señal de la acción derivativa.....	30
19. Sistema de control PID.....	31
20. Incubadora neonatal OHIO IC.....	40
21. Cabina del neonato.....	42
22. Componentes involucrados en la circulación del aire.....	43
23. Panel de Monitoreo y Control.....	44

24. Modo de Operación Manual	44
25. Modo de Operación Servo Controlado.....	45
26. Indicativos de Alarmas.....	45
27. Sistema o Sobre Temperatura.....	46
28. Indicativo de Fallo de Sistema.....	46
29. Uso de la Lámpara para Fototerapia en incubadora.....	47
30. Selector para el Control de Temperatura.....	48
31. Estado de deterioro en la incubadora.....	49
32. Componentes Internos.....	49
33. Base sujetadora de la Incubadora.....	50
34. Resistencia Eléctrica de la Incubadora.....	51
35. Características Técnicas de la Resistencia.....	52
36. Termostato de Protección.....	52
37. Motor Eléctrico.....	53
38. Motor Eléctrico con Acople Centrifugo.....	54
39. Sensor de Temperatura en Piel.....	55
40. Sensor de Temperatura de la Capsula.....	55
41. Pantalla LCD 16x2.....	56
42. Pantalla LCD 16x2 con Modulo I2C Integrado.....	57
43. Diagrama de Bloques de la Estructura General para el Diseño.....	59
44. Diagrama de Bloques del Proceso de Calefacción en la Capsula.....	60
45. Diagrama de Bloques del Proceso de Calefacción en la Capsula.....	61
46. Alimentación Eléctrica de los Diferentes Elementos.....	62
47. Arduino Uno Simulado Proporcionado por Proteus.....	63
48. Activación del Ventilador Centrifugo.....	64

49.	Activación de la Resistencia Eléctrica.....	64
50.	Calculadora para Termistores NTC.....	66
51.	Posición de los Sensores de Ambiente.....	66
52.	Lectura de Tensión en los Sensores.....	67
53.	Lectura de Tensión en los Sensores.....	68
54.	Conexión del Panel Frontal.....	68
55.	Arreglo entre Resistencias y el Panel Frontal.....	69
56.	Arreglo entre Resistencias y el Panel Frontal.....	70
57.	Conexión del Altavoz.....	71
58.	Conexión del Altavoz.....	72
59.	Proceso para la Obtención de los Datos.....	73
60.	Datos Obtenidos del Ensayo.....	73
61.	Punto de inflexión de la grafica.....	74
62.	Diagrama de Flujo General.....	76
63.	Diagrama de Flujo del Modo Manual.....	77
64.	Diagrama de Flujo del Modo Servo Controlado.....	78
65.	Diagrama de Flujo para la Detección de Fallas.....	79
66.	Diagrama del Diseño de la PCB.....	80
67.	Diagrama del Diseño de la PCB Detallado.....	81
68.	Modelado 3D Parte Superior.....	82
69.	Modelado 3D Parte Posterior.....	82

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pp.
1. Principales normativas para la fabricación de incubadoras	14
2. Requisitos para el funcionamiento de la incubadora.....	16
3. Características y construcción de un sensor NTC de piel.....	17
4. Características y construcción de un display 7 segmentos.....	19
5. Niveles de funcionamiento según el tipo de microcontrolador.....	23
6. Cronograma de Actividades.....	41
7. Características de la Pantalla LCD 16x2.....	56
8. Descripción de la Fuente de Alimentación.....	61
9. Asignación de Terminales del Panel Frontal.....	70
10. Asignación de Terminales de LEDs Indicadores.....	71
11. Tabla de Ziegler-Nichols.....	74
12. Costos de Fabricación del sistema de control.....	85



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE CONTROL PARA LA INCUBADORA NEONATAL OHIO IC
EN LA EMPRESA ANDREAS REINHARD UTILIZANDO
LA PLATAFORMA OPEN-SOURCE ARDUINO**

Autor: López Miguel.

Tutor: Ing. Javier Iglesias.

Fecha: Octubre 2019.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación, surge de la problemática existente en la empresa ANDREAS REINHARD, ubicada en Valencia, estado Carabobo, la cual presenta la necesidad de recuperar una incubadora neonatal, específicamente de la marca OHIO IC, la cual presenta una avería en el controlador electrónico original, siendo esta imposible de sustituir o reparar, debido a la discontinuidad del producto en el mercado, esta sigue en posesión de sus sensores y actuadores originales. De lo anteriormente planteado, se tiene como objetivo el diseñar un sistema de control en la incubadora mediante la plataforma de Open-Source Arduino, diagnosticando todo el funcionamiento y reglamento necesario para su adecuada implementación, para así evitar cualquier atentado posible contra la salud del bebe.

Descriptor: Incubadora, Microcontrolador, Arduino, Bebe

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación es un proyecto el cual tiene como objetivo diseñar un sistema de control para la incubadora neonatal OHIO IC, la cual se encuentra ubicada en la empresa ANDREAS REINHARD, esta se encuentra en un estado de abandono por parte de la empresa, esto es debido a que el controlador electrónico original se averió llevando está a su total inoperatividad. La importancia que representa una incubadora neonatal hoy en día es considerable, debido a la cantidad de niños prematuros (bebés los cuales no han completado las 38 semanas de gestación) que nacen diariamente, el problema con estos niños es que sus cuerpos no están preparados para enfrentar el entorno que los pueda rodear, por lo que esto lleva al recién nacido a perder rápidamente su calor corporal.

En la actualidad existen varios tipos de incubadoras las cuales brindan al neonato características especiales como lo son; control manual o servo controlado de la temperatura, Paneles o consolas donde se observa en todo momento ya sea la temperatura de la cabina o la temperatura misma del bebé, poseen cortinas de aires las cuales controlan la humedad.

Por ello, se llevó una investigación donde se pretende estudiar el completo funcionamiento de una incubadora neonatal, tomando grandes consideraciones respecto al apartado de la seguridad del bebé, para esto se realizó el estudio de varias normas, las cuales rigen o controlan estrictamente todas las características que debe poseer una incubadora antes de poder ser usada en un hospital o una institución pública, teniendo esto en cuenta se realizó un estudio de los componentes electrónicos y técnicos que posee el equipo, describiendo específicamente los electrónicos siendo estos fundamentales para el desarrollo del programa.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cinco capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

Capítulo I: Se especifica la institución donde se planteará el trabajo de investigación, se define su descripción como empresa, se exponen sus servicios al mercado entre otros aspectos.

Capítulo II: Este capítulo va referido al problema, su planteamiento el cual se trata de comprobar durante el desarrollo del trabajo por medio de objetivos generales y específicos, así como la justificación del estudio.

Capítulo III: Se centra en los antecedentes, trabajos realizados los cuales aportan datos necesarios para llevar a cabo nuestro proyecto, así como en las bases teóricas, las cuales son necesarias para el desarrollo de la investigación y en último caso tenemos la definición de los términos básicos.

Capítulo IV: Este capítulo, el marco metodológico describe el tipo y diseño de la investigación a utilizar para cumplir los objetivos del proyecto, además se detallan las fases metodológicas que se utilizaran para desarrollar el proyecto.

Capítulo V: En este capítulo, se habla de los recursos utilizados para poder realizar este proyecto.

CAPITULO I LA EMPRESA

1.1 Reseña Histórica

En el año 2018, se forma la compañía ANDREAS REINHARD, sucesora directa de la compañía BIOTEK C.A., empresa dedicada a actividades de la ingeniería electrónica, aplicada a la medicina, que incluye la instalación, reparación y repotenciación, es decir, mantenimiento de equipos electro médicos en general, así como el ensamblaje y fabricación de piezas de dichos equipos

La compañía tiene como objeto la realización de todo género de operaciones de lícito comercio en cualquiera de sus formas permitidas por la ley, a esta clase de sociedades; la realización de toda actividad mercantil y comercial, sin que ello implique limitación alguna de la amplitud del objeto social, todas las actividades relacionadas con los biosistemas y la ingeniería electrónica aplicada a la medicina; el mantenimiento, reparación instalación y montaje de equipos electro médicos en general, de laboratorio, electrónicos, electromecánicos e industriales.

1.2 Misión

Satisfacer la necesidad de nuestros clientes dentro del área de salud en cuanto al ofrecimiento de servicios de mantenimiento de equipos electro médicos en general, así como el ensamblaje y fabricación de piezas y partes de dichos equipos, contando con personal técnico especializado y con equipo tecnológico, de forma que mantengamos la competitividad, y así contribuir al bienestar de las personas, asimismo, buscamos apoyar e incentivar los nuevos talentos para ofrecerles la manera de desarrollar todo su potencial y capacidad dentro de esta área.

1.3 Visión

Mantener un excelente servicio y de alta calidad para llegar a estar posicionados como líderes en la prestación de servicio técnico especializado, optimizando los recursos disponibles, buscando relaciones a largo plazo y, ante todo, la salud y bienestar de los seres humanos.

1.4 Ubicación actual

ANDREAS REINHARD., actualmente se encuentra ubicada en la Avenida Andrés Bello entre la calle 89-67. Edificio Coteca-Local 1

1.5 Valores

ANDREAS REINHARD. los valores son características que nos definen como organización y sirven como eje de nuestro crecimiento, los valores fundamentales que nos representan como empresa son:

- **Puntualidad:** “Somos constantes en el cumplimiento de nuestros deberes como lo son los envíos y plazos de entrega; e incluso a nuestro equipo, como el pago de facturas y nóminas”.
- **Trabajo en equipo:** “Animamos la unificación de equipos con el propósito de alcanzar metas comunes”.
- **Disciplina:** “Motivamos a nuestros empleados, que actúen con cordura en el ambiente laboral, respetando las reglas y reglamentos”.
- **Responsabilidad:** “Actuamos de manera responsable con la sociedad y el medio ambiente”.
- **Lealtad:** “Mostrarse leales y fieles con nuestro equipo y nuestros clientes, los cuales devolverán esa fidelidad”.
- **Pasión:** “Incentivamos el interés del empleado con el trabajo y con las funciones a desarrollar”.

1.6 Descripción

ANDREAS REINHARD, es una empresa de ingeniería en el electromedicina, especializada en los elementos tecnológicos.

1.7 Servicios

- Reparación de equipos médicos.
- Prestación de servicio de mantenimiento.
- Elaboración de piezas y partes de equipos médicos.
- Repotenciación de equipos médicos.
- Ensamble e instalación de equipos médicos.
- Instalación de conductos para gases medicinales.
- Asesoría para la adquisición de equipos médicos.
- Venta de equipos médicos.

1.8 Estructura organizacional

La estructura en ANDREAS REINHARD, está compuesta por un Director, que ejerce el mando en la empresa, se encarga de la gerencia y las tareas administrativas. Visualización del organigrama de la empresa. (Ver Figura N° 1)

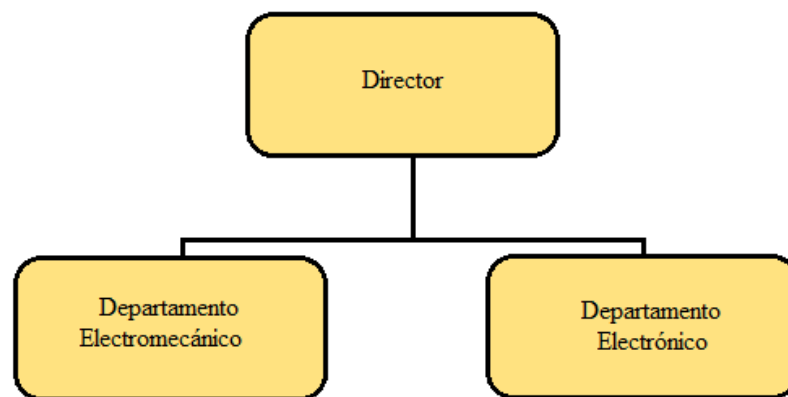


Figura 1. Organigrama de la empresa ANDREAS REINHARD.

Fuente: Ing. Andreas Reinhard (2019)

CAPITULO II EL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del Problema

En el mundo cada año nace más de 15 millones de niños en etapa prematura de gestación antes de que se cumplan las 37 semanas de gestación, Esta cifra está en aumento según, la OMS (2018). la tasa de supervivencia de esos niños era inferior al 20% luego de la invención y evolución de las tecnologías en incubadoras, esa tasa aumento a más del 90% de supervivencia en niños nacidos posterior a la semana 22 de gestación. Estas estadísticas también se reflejan en Venezuela convirtiéndose entonces las incubadoras en un factor primordial en la salud publica

Desde hace ya mucho tiempo las compañías proveedoras de tecnologías para la salud han desarrollado en el campo de las incubadoras diversas características para optimizar su funcionamiento, como es el caso de OHIO IC que desarrollo una incubadora neonatal, la cual tiene cualidades específicas para el control de la temperatura, humedad y circulación de aire idóneos para el desarrollo del bebe, al igual un sistema de alarmas y advertencias que permite el constante monitoreo y supervisión del mismo

Este dispositivo representa una gran utilidad para cualquier establecimiento de la salud en el cual se encuentre; actualmente en la empresa Andreas Reinhard ubicada en Valencia se encuentra un ejemplar de estos dispositivos cuyo sistema de control de habiente y monitoreo de la capsula se encuentra averiado y el resto de sus componentes tales como; consola, sensores, capsula, resistencia y demás componentes físicos en perfecto estado, es por ello que ante la importancia y la utilidad que puede tener este equipo, es necesario sustituir el sistema averiado antes mencionado con opciones viables existentes en el mercado como es el caso del microcontrolador Arduino.

2.2 Formulación del Problema

Mediante toda la información que ha sido expuesta anteriormente, llevó al investigador a formularse la siguiente interrogante ¿De qué manera se puede reacondicionar la incubadora neonatal OHIO IC en la empresa Andreas Reinhard?

2.3 Objetivos de la Investigación

2.3.1 Objetivo general

- Proponer el rediseño de un sistema de control para la incubadora neonatal OHIO IC en la empresa Andreas Reinhard, en la ciudad de Valencia, Carabobo, utilizando la plataforma Open-Source Arduino.

2.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el funcionamiento de la incubadora neonatal OHIO IC.
- Conocer los parámetros operativos de la incubadora neonatal OHIO IC.
- Diseñar el sistema de control para la incubadora neonatal OHIO IC.
- Estudiar la factibilidad técnica, económica, ambiental y social de la propuesta.

2.4 Justificación de la investigación

Esta propuesta está dirigida al rediseño de un sistema de control de la capsula, en una incubadora para neonatales, este sistema tiene la responsabilidad de medir y generar una serie de condiciones como la temperatura, humedad y ventilación necesaria e idónea para la supervivencia del niño, estas condiciones deben ser regulables a fin de ser adaptadas para cada caso y requerimientos especiales.

En la actualidad estos dispositivos son escasos en el país, y su importancia en los centros médicos es de mucha relevancia generando una diferencia real entre la vida y la muerte. En la empresa de Andreas Reinhard se encuentra un dispositivo en perfectas condiciones físicas el cual esta inoperativo por la avería del sistema de control principal, es por ello que luego de un estudio profundo del manual de operaciones y servicio del dispositivo y una exhaustiva evaluación de todos los componentes actuales. Así pues, la detección de estos sensores de temperatura, motor de giro de la turbina para el flujo de airé, resistencia eléctrica, consola de control, establecemos las variables necesarias para el funcionamiento óptimo del mismo. Basados en estas variables se

realiza un estudio sobre microcontroladores, su funcionalidad y accesibilidad dentro del mercado que se adapte a las variables requerida para su funcionamiento, adaptando sus sensores a las mismas para un perfecto funcionamiento del sistema de temperatura, control del mando de la consola, sistema de aire. Basados en estudios anteriores relacionados al área de control de temperatura se debe realizar la programación de esos sensores y realizar un protocolo de simuladores para determinar la respuesta de los mismos.

CAPITULO III MARCO TEORICO

La definición del marco teórico según, Arias (2006), “Consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación”. Por lo tanto, expuesto ya el problema se procederá a exponer las investigaciones tomadas para explicar las características principales de las incubadoras neonatales.

3.1 Antecedentes de la Investigación

En este estudio investigativo se consultaron investigaciones relacionadas al problema planteado, específicamente al control de una incubadora neonatal, esta presenta variables y componentes internos que son fundamentales el tener en cuenta para el desarrollo seguro de esta, teniendo en cuenta estos aspectos se seleccionaron las investigaciones que nos aporte de manera significativa el desarrollo del estudio.

Adicionalmente a lo señalado anteriormente Pérez (2004), indica que "es costumbre de los estudiantes pensar que no existe antecedentes relacionados con la investigación en desarrollo, sugiere consultar en diversas instituciones para incluir aquellas que más se acercan a la temática planteada." (p. 58).

Cruz, J y Flavio A, (2016) en el trabajo de investigación titulado como: **“Diseño e implementación de un prototipo de incubadora neonatal usando la plataforma open-zurce Arduino”** trabajo presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica en Automatización y Control ante la Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui, Ecuador. La problemática de este proyecto radica, en el desarrollo de una incubadora neonatal capaz de albergar un recién nacido.

El proyecto abarca la realización de la parte estructural y el sistema de control de la incubadora, se propusieron a utilizar dos placas Arduino, la primera recibirá y enviara las señales asociadas a la temperatura del neonato y, la segunda placa Arduino enviará la temperatura corporal del neonato mediante una conexión de red hacia las computadoras o dispositivos que estén conectados al hospital, con el objetivo de tener total monitoreo sobre el neonato en cada momento. En este proyecto tuvieron en consideraciones las pruebas de funcionamiento realizadas e instalaron alarmas para indicar un mal funcionamiento del sistema o periféricos. Este proyecto realizo exitosamente el desarrollo e implementación de una incubadora neonatal cumpliendo las normativas de la UNE-EN 60601-2-19, las cuales se basan en la construcción validación y mantenimiento del funcionamiento de incubadoras neonatales.

En relación con esto último, el proyecto apporto de manera significativa la acreditación de la investigación planteada, debido a que se encuentra relacionado con el desarrollo de un programa de control en Arduino, dicha programación la realizan teniendo en cuenta el cumplimiento de normas y parámetros fundamentales para la seguridad del neonato, además de una extensa recolección de información acerca de las condiciones que se tienen que dar para que un recién nacido se considere prematuro.

De igual importancia, el desarrollo del sistema de control implementando un PID con Arduino, aporta un recurso significativo para la elaboración del sistema de control que se desea implementar en la incubadora neonatal OHIO IC, debido a los resultados obtenidos, esto se debió a la gran ejecución de las materias como lo son los sistemas de control y control proporcional, integral y derivativo (PID), los cuales están relacionados al proyecto a realizar.

Así mismo, Juan, C. (2016) presentando el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un prototipo de sistema de control, supervisión de temperatura y humedad, para cultivos caseros najo invernadero, utilizando el módulo Arduino, en la ciudad de Cayambe”** trabajo presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica Digital y Telecomunicaciones ante la Universidad Tecnológica Israel, Cayambe, Ecuador.

Este proyecto se centró en el estudio del módulo Arduino y sus distintas aplicaciones, el cual le permitió diseñar un prototipo adecuado de control de temperatura y humedad dentro del invernadero, el cual facilita a los operadores la obtención de estas variables, posterior a lo anterior elaboraron un prototipo de invernadero con sus distintos componentes como sensores y actuadores,

Además. de una aplicación para computadora, el cual permite la supervisión y control de los invernaderos.

Este proyecto nace de la problemática que se encuentran en los invernaderos, donde el monitoreo y la supervisión de estas esta dificultado, por lo cual se disponen a desarrollar un sistema de monitorización y control de invernadero, apoyado de la popular plataforma de hardware libre Arduino, el cual monitoreara las principales variables implicadas en el crecimiento de cultivos, como pueden ser la humedad del suelo, humedad del ambiente y temperatura, obtenidos mediante sensores colocados en el invernadero.

Es así como, aunque no se observe la relación directa del trabajo citado en comparación al primer trabajo mostrado, el cual el foco a estudiar era similarmente el mismo, aun así, este proyecto de investigación aporta una amplia referencia en cuanto a la programación en Arduino, como lo son la implementación de librerías dentro del software, las cuales son aportes de código creadas por terceros, las cuales podemos hacer uso, estas nos facilita de gran manera la programación, al mismo tiempo que, simplifica nuestra programación haciendo el programa a realizar más fácil de entender, la ventaja de este tipo de plataformas de código libre es que nos brinda una infinidad de librerías de gratis acceso.

Por último, Rubén, O. (2016) en su trabajo de investigación presentado como: **“Sistema de control demótico basado en Arduino”** trabajo presentado como requisito para optar el título de Ingeniero de Sistemas Informáticos, La Paz, Bolivia. Su propuesta para trabajo de grado fue el presentar una investigación centrada en modelar, diseñar y construir un sistema integrado de control y seguridad, compuesto de elementos computacionales que permitan al usuario tener acceso a la información y

control de la gestión remota de la vivienda, se plantea el estado actual de la domótica y los diferentes tipos de sistema de control demótico que se han desarrollado, por lo cual llega a plantearse diferentes tipos de problemas, lo cual le llevaron a su investigación, como lo son las tareas rutinarias no automatizadas, como el controlar el sistema de iluminación, apertura y cierre de puertas y ventanas.

Además, la explotación de los recursos que poseen los teléfonos móviles es desconocida en algunos estratos sociales, los dueños de vivienda no tienen conocimiento sobre las nuevas tecnologías acerca de la domótica y sus beneficios, podemos concluir que los servicios que ofrece la domótica a nuestro diario vivir sin duda busca el confort y seguridad entre sus principales, brindando formas de comunicación que interactúen a través de dispositivos que realicen una acción en nuestro hogar, resumiendo, un aumento de la calidad de vida del propietario del hogar y las personas que lo componen.

En Líneas generales, el proyecto de investigación anteriormente expuesto, se podrá tomar como aporte la interacción mostrada entre la placa Arduino y los teléfonos celulares, mediante el uso de redes de comunicación, tal interacción podría verse reflejado en la incubadora OHIO IC, si en algún futuro se buscara la modernización de este, el trabajo presenta un sistema de monitoreo y control el cual se tomará en cuenta para el desarrollo del circuito controlador final, como también las sugerencias en la programación de la placa Arduino efectuadas por el autor.

3.2 Bases Teóricas

Según Bavaresco, A. (2006) sostiene que las bases teóricas: “tiene que ver con las teorías que brindan al investigador el apoyo inicial dentro del conocimiento del objeto de estudio, es decir, cada problema posee algún referente teórico, lo que indica, que el investigador no puede hacer abstracción por el desconocimiento, salvo que sus estudios se soporten en investigaciones puras o bien exploratorias”. Por consiguiente, se presentan los conceptos, los cuales abarcaran el problema planteado.

3.2.1 Incubadora Neonatal

Este equipo fue diseñado para la unidad de cuidados intensivos neonatales, donde se espera que los bebés prematuros tendrán varias complicaciones al nacer, entre ellas la rápida pérdida de temperatura corporal, por lo que la incubadora se encargará de calentar al bebé hasta una temperatura recomendable para su posterior desarrollo físico (Cassisi, 2005-2015).

La incubadora protegerá al recién nacido del medio ambiente que lo rodea a través de una cubierta transparente para poder observar constantemente su evolución, las incubadoras poseen un panel frontal el cual indica la temperatura del ambiente que rodea al neonato como la temperatura corporal del mismo.

Así mismo, la norma que usa la mayoría de compañías para el desarrollo de incubadoras neonatales, es la UNE-EN 60601-219, la cual se basa en los requisitos particulares de seguridad y el funcionamiento esencial que deben cumplir estos equipos pertenecientes al área de cuidados intensivos.

3.2.2 Normas de fabricación y mantenimiento de incubadoras neonatales

Existe varias organizaciones que dictan las normas para la fabricación y mantenimiento de equipos médicos, las cuales son usadas principalmente para proteger la vida del paciente, estas normas aseguran ya sea al operador o al técnico encargado, estar seguro a la hora de utilizar cualquier equipo.

En Venezuela tales entidades que rijan las normativas de seguridad de los equipos médicos no existe, lo cual se debe a que Venezuela no construye actualmente ninguna clase de aparato médico, por lo tanto, se recurre a las normativas internacionales validadas por organizaciones dedicadas al estudio de la seguridad de estos aparatos como lo son las siguientes mostradas. (ver tabla 1).

Tabla 1. Principales normativas para la fabricación de incubadoras

Ente	Norma	Año de publicación
Secretaria de Salud México	NOM-066-SSA1-1993. (Especificaciones sanitarias en incubadoras)	1995
ANSI/AAMI	ANSI/AAMI II36-1997. (New standard offers guidelines for infant incubator safety)	1997
ANSI/AAMI	ANSI/AAMI II36. (Infant incubators)	1998
UNE	UNE-EN 60601-2-19	Enero 2010, Versión corregida, Octubre 2018

Fuente: López, Miguel (2019)

De este modo, nos enfocaremos en la normativa UNE-EN 60601-2-19 la cual abarca casi totalmente todas las anteriormente expuestas, en consecuencia, procederemos a explicarla.

3.2.2.1 Normativa UNE-EN 60601-2-19

La normativa a seguir para el desarrollo del sistema de control de la incubadora neonatal OHIO IC, esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN 209 Equipos electrónicos, cuya secretaria desempeña AETIC (Asociación de Empresas de Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones de España), la cual se aplica a la seguridad básica y al funcionamiento esencial de las incubadoras para bebés.

Esta norma especifica requisitos de seguridad aplicables a las incubadoras neonatales, pero los métodos alternativos que demuestren un nivel de seguridad equivalente no se juzgaran, tomando esto en cuenta se usó varios fragmentos de esta norma como lo son:

- **201.3.209 Incubadora:** Equipo médico que dispone de una cubierta para el bebe con medios para regular el ambiente que lo rodea.
- **201.3.205 Habitación del neonato:** Área con ambiente controlador, destinado para albergar al bebe, dotado de una o varias secciones transparentes que permiten observar al bebe.
- **201.3.202 Temperatura media de la incubadora:** Valor medio de las lecturas de temperatura de la incubadora tomadas en intervalos una vez alcanzada la condición de temperatura estabilizada
- **201.9.6.2.102 Nivel sonoro de las alarmas audibles:** El nivel sonoro que debe tener el área donde se encuentra la incubadora neonatal sin que afecte directamente al bebe.
- **201.4.3.101 Funcionamiento esencial de las incubadoras:** Los requisitos de funcionamiento esencial que se dan en los apartados listados en la Tabla 2.

La incubadora neonatal a la cual se realizara el diseño de control, será regulada por la temperatura del aire y la termorregulación del neonato, de este modo, la incubadora regulara automáticamente la temperatura del habitáculo, usando como punto de referencia la lectura del sensor dentro del habitáculo, además tendrá el apartado de regular la temperatura tomando como punto de referencia la lectura del sensor cutáneo la cual se ubica en la piel del recién nacido, se tomaron en consideraciones estas secciones de la Norma UNE-EN 60601-2-19, debido a que ya se dispone de la gran mayoría de componentes aprobados por el fabricante, teniendo esto en cuenta, se tomó como requisitos fundamentales del funcionamiento de la incubadora la lista planteada en la Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos para el funcionamiento de la incubadora

Sección	Requisito	Descripción
Generación de una alarma visual y audible o 201.12.1.104	FUNCIONAMIENTO ESENCIAL REQUISITO #1	Cuando la incubadora entra en modo de operación, la temperatura de mando no debe variar en más de 0.7°C en la condición de temperatura estabilizada caso contrario se encenderá una alarma audible.
Generación de una alarma visual y audible o 201.12.1.104	FUNCIONAMIENTO ESENCIAL REQUISITO #2	El intervalo de operación de la incubadora será de 20°C a 40°C y con una exactitud de 0.8°C en la lectura del sensor de temperatura

Fuente: UNE-EN 60601-2-19

Por otro lado, el apartado 201.7.9.2.2, el cual desarrolla los avisos y consignas de seguridad para cualquier equipo médico y las incubadoras, están deben estar “aterradas”, poseer una puesta de tierra esencia para garantizar que cualquier equipo adicional que se conecte al neonato no le afecte físicamente por variaciones eléctricas, cortocircuito, etc.

3.2.3 Componentes electrónicos del cual dispone la incubadora OHIO IC

En este apartado, se procederá a exponer y explicar de manera teórica, los componentes electrónicos que se encuentran en condiciones apropiadas para reutilizar y rehabilitar.

- **Termistor NTC 10k de piel.**
- **Display 7 segmentos.**
- **Resistencia niquelina.**

- **Ventilador centrifugo.**
- **Relé de estado sólido.**

3.2.3.1 Termistor NTC 10k de piel

Este tipo de sensores de temperatura basan su funcionamiento en la resistencia, el cual varia su valor con la temperatura a un coeficiente negativo, este tipo de sensor se caracteriza por su rapidez en la adquisición de lectura.

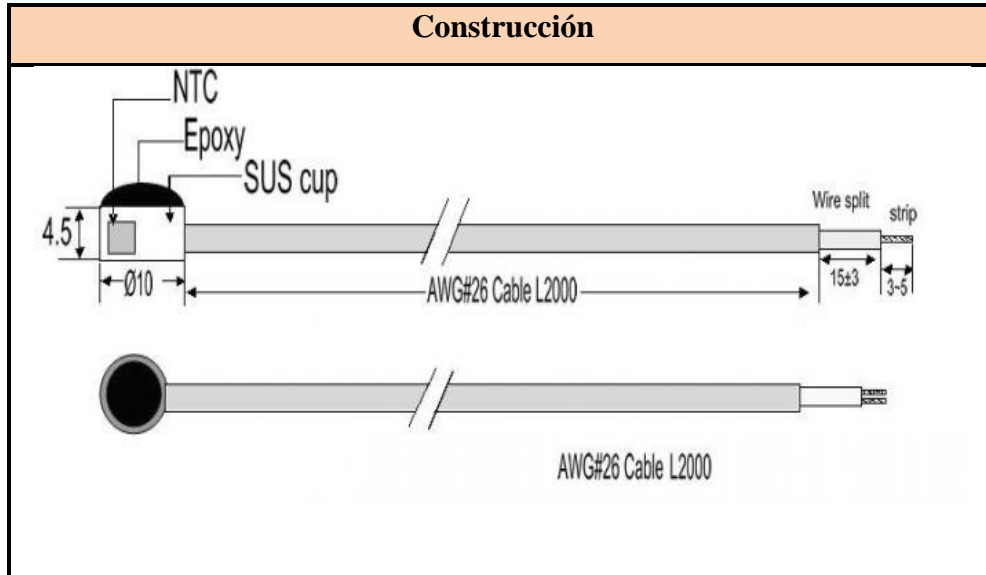


Figura 2. Sensor de temperatura cutáneo

Fuente: <https://images.app.goo.gl/DyzVj6JdiGMcEZnZ7>

Tabla 3. Características y construcción de un sensor NTC de piel

Características Generales
Diseñado para la medición de la temperatura del paciente
El sensor es altamente exacto proporcionando lecturas confiables de la temperatura superficial
Posee una precisión de $\pm 0.1 \text{ } ^\circ \text{C}$ de $25 \text{ } ^\circ \text{C}$ a $45 \text{ } ^\circ \text{C}$ y $0.02 \text{ } ^\circ \text{C}$ de $35 \text{ } ^\circ \text{C}$ a $42 \text{ } ^\circ \text{C}$



Fuente: www.spanish.uchidg.com/photo/uchidg/editor/20140414132432_24371.jpg

3.2.3.2 Display 7 segmentos

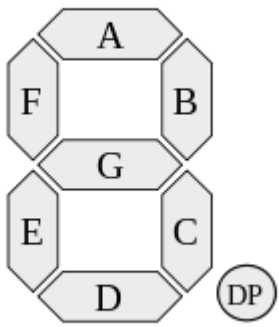
El display es la forma más común de representar caracteres en equipos electrónicos, este tipo de dispositivos nos permite visualizar constantemente parámetros como temperatura.



Figura 3. Display 7 segmentos

Fuente: <https://images.app.goo.gl/bQnTykoYKuZPESF9A>

Tabla 4. Características y construcción de un display 7 segmentos

Características Generales
Si se activan o encienden todos los segmentos se forma el número "8".
Varias veces aparece un octavo segmento denominado dp. (punto decimal).
Los hay de dos tipos: ánodo común y cátodo común.
Construcción


Fuente: <https://images.app.goo.gl/H74A8yRvxbNWD4Ya7>

3.2.3.3 Resistencias niquelinas

Las resistencias de este tipo, como su nombre lo indican se fabrican a base de níquel, su funcionamiento es simple, al conectarla a la corriente eléctrica este la transformara en calor. Siguiendo la ley de joule se puede afirmar que la cantidad de calor desprendido de una resistencia eléctrica es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente y directamente proporcional al valor de la resistencia y el tiempo.

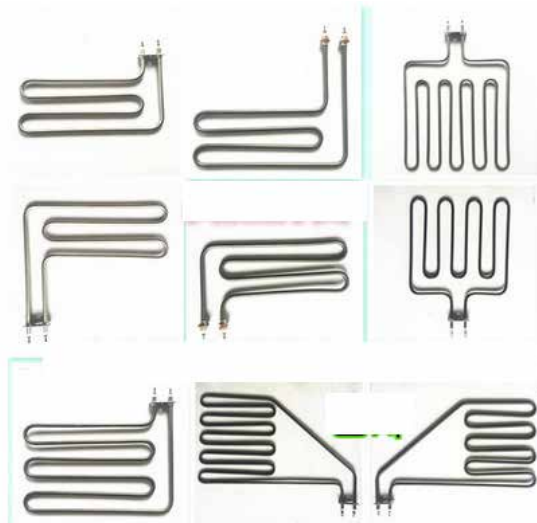


Figura 4. Resistencia eléctrica

Fuente: <https://images.app.goo.gl/u2gAKuhvoxsh4LDz6>

3.2.3.4 Ventilador centrifugo

En este tipo de ventiladores el aire es impulsado por una turbina o rodets (ver Figura 5), los cuales lo aspiran por el centro y lo expulsa a través de sus alabes o palas, cambiando su flujo de aire en un Angulo de 90° , entre la entrada y la salida, tienen una hélice o rodete con los álabes curvadas en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad y son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media, tal como la que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire.



Figura 5. Ventilador centrifugo de 140mm

Fuente: <https://images.app.goo.gl/HZe2zuEtqL8j6jEu6>

El ventilador de la incubadora neonatal OHIO IC es de tipo centrifugo, adecuado para enviar aire con la suficiente fuerza hacia el interior de la cámara. Este tipo de ventilador es usado comúnmente en áreas grandes para ventilación general por lo que puede cubrir el área interna de la incubadora con facilidad.

3.2.3.5 Relé de estado sólido

El relé de estado sólido (SSR), se utiliza para poner en marcha dispositivos eléctricos mediante una señal de control generalmente de corriente continua, la cual dependerá de los datos del fabricante.

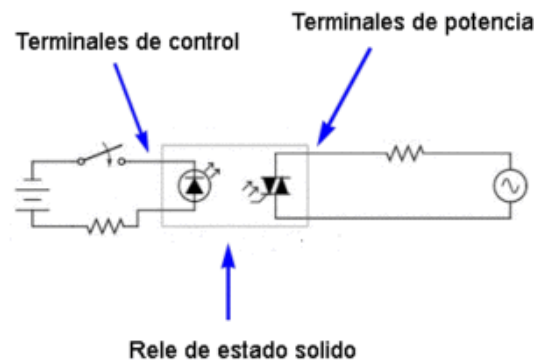


Figura 6. Funcionamiento del relé de estado sólido

Fuente: https://www.infootec.net/wp-content/uploads/2016/12/rele_de_estado_solido-300x225.gif

De lo visto en la Figura 6, podemos decir que a través de los terminales de control se manda la señal para que actúe el SCR interno, el cual permite el paso de corriente por los terminales, las ventajas significativas que encontramos al emplear este tipo de accionamientos según (ELECTRICAS, 2010) son:

- Son robustos, silenciosos, livianos y confiables.
- Generan muy poca interferencia.
- Los Relés de estado sólido no sufren de desgaste mecánico ya que no usan partes móviles.
- Son inmunes a choques y vibraciones.
- Altas frecuencias de operación, la conmutación es superior a los mecánicos.

- Pueden conmutar altas corrientes y voltajes sin producir arcos o ionizar el aire circundante.

Se muestra un relé de estado sólido (Ver Figura 7), tiene cuatro entradas, dos en la parte superior las cuales se utilizan para conectar la carga y dos en la parte inferior para conectar la señal de control DC.



Figura 7. Relé de estado solido

Fuente: <https://images.app.goo.gl/u6CF6choV3Y1G9jg7>

3.2.4 Componentes planteados para el control y monitoreo de la incubadora OHIO IC

En el apartado anterior, se explicó de manera teórica los componentes actuales de la incubadora, para esta sección se expondrán una serie de dispositivos y componentes electrónicos, necesarios para efectuar el objetivo planteado. Teniendo lo anterior en cuenta enlistamos:

- **Tarjeta Arduino.**
- **Arduino Uno.**
- **Arduino Mega.**
- **Mosfet de potencia.**

3.2.4.1 Tarjeta Arduino

La plataforma Arduino es de hardware libre, Esto quiere decir que Arduino ofrece las bases para que cualquier otra persona o empresa pueda crear sus placas, pudiendo ser diferentes entre ellas, pero igualmente funcionales al partir de la misma base, a su vez Arduino ofrece IDE (Entorno de desarrollo Integrado), el cual crea un ambiente de programación con el que todo el público puede crear aplicaciones para estas.

Estas placas se basan en el microcontrolador ATMEL, de la serie Atmega x 8, un chip sencillo y de bajo coste que permita el desarrollo de diseños electrónicos con las siguientes características:

Tabla 5. Niveles de funcionamiento según el tipo de microcontrolador

	ATMEGA168	ATMEGA328	ATMEGA1280
Voltaje operativo	5 V	5 V	5 V
Voltaje de entrada recomendado	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V
Voltaje de entrada limite	6 – 20 V	6 – 20 V	6 – 20V
Pines de entrada y salida digital	14 (6 proporcionan PWM)	14 (6 proporcionan PWM)	54 (14 proporcionan PWM)
Intensidad de corriente	40 mA	40 mA	40 mA
Memoria flash	16 kB (2 Kb reservado para el bootloader)	32 kB (2 Kb reservado para el bootloader)	128 kB (4 Kb reservado para el bootloader)
SRAM	1 kB	2 kB	8 kB
EEPROM	512 bytes	1 kB	4 kB

Frecuencia de Reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz
---------------------	--------	--------	--------

Fuente: Electrónica: Plataformas Arduino y Raspberry PI - 2014

3.2.4.2 Arduino Uno

El Arduino Uno es una versión más simple que la del Arduino mega, utiliza el microcontrolador Atmega328 y tiene 14 pines de entrada/salida digital de los cuales 6 son utilizadas como salidas PWM o como entradas analógicas, El ATmega328 en la placa viene pre programado con un cargador de arranque que le permite cargar un nuevo código sin el uso de un programador de hardware externo.



Figura 8. Arduino Uno

Fuente: Arduino (2019)

La placa Arduino Uno es la mejor opción para iniciar con la programación de microcontroladores. Si es la primera experiencia con la plataforma Arduino, la tarjeta Arduino Uno es la opción más robusta y la más usada, disponiendo de la mayor cantidad de documentación de toda la familia Arduino.

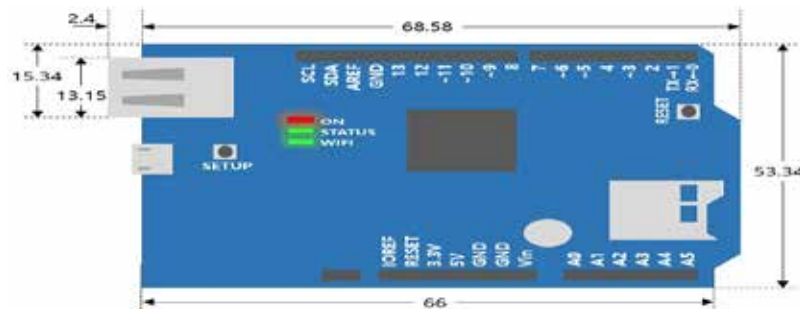


Figura 9. Dimensiones del Arduino Uno en mm

Fuente: Arduino (2019)

3.2.4.3 Arduino Mega

El Arduino Mega (ver Figura 8) es una placa electrónica basada en el ATmega1280 (Ver Tabla 4). Cuenta con 54 pines digitales de entrada y salida (de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 puertos serie, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio.



Figura 10. Arduino Mega 1280

Fuente: Arduino (2019)

Cada uno de los 54 pines digitales en el Arduino Mega se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Operan a 5 voltios, cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40mA y tiene una resistencia de pull-up desconectado por defecto de 20-50k Ohm.

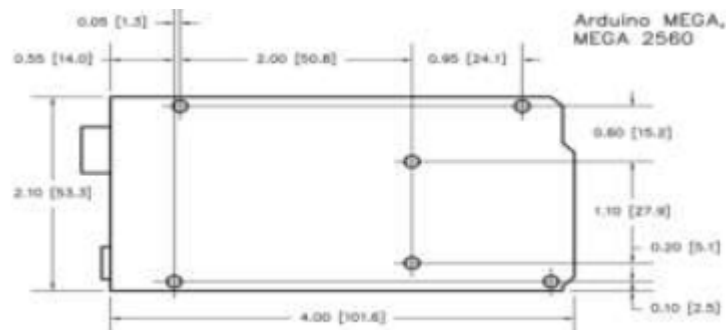


Figura 11. Dimensiones del Arduino Mega

Fuente: Arduino (2019)

3.2.4.4 Mosfet de potencia

El mosfet funcionará como activador de uno de los actuadores de la incubadora, específicamente el ventilador centrífugo, este dispositivo recibe la señal controlada de una salida PWM de la Tarjeta Arduino para controlar la velocidad de giro del ventilador, este funcionamiento dependerá de la lectura de los sensores de temperatura, como el de ambiente o el de piel, la conexión a realizar con el Arduino se muestra en la Figura 12.

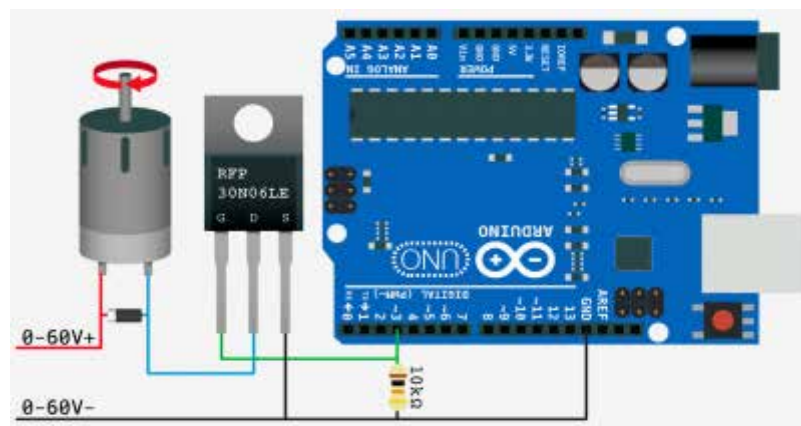


Figura 12. Conexión del Mosfet al Arduino para el giro de un motor

Fuente: <https://images.app.goo.gl/nP8DQYFF9sYvWjfC8>

La configuración que se realiza a través de un microcontrolador y el Mosfet se puede apreciar en la Figura 12. La imagen muestra la salida de una señal proveniente del Arduino hacia el dispositivo de potencia permitiendo así la energización del motor.

3.2.5 PID (Control proporcional, integral y derivativo)

Según Franklin (2013), El control PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada, un controlador PID está conformado por tres acciones de control; proporcional, derivativa e integral, las mismas que son explicadas a continuación. Para entender el sistema de control PID digital que se implementará en la tarjeta Arduino se analizará cada una de las acciones que conforman dicho controlador.

3.2.5.1 Acción Proporcional

Se muestra un controlador proporcional (ver Figura 13), el cual se encuentra a un lazo retroalimentado con el objetivo de multiplicar la ganancia del sistema con la señal de error, tratando de minimizar este.

Figura 13. Control proporcional
Fuente: <https://images.app.goo.gl/KNdpffb2VEZVEcTF8>

Una vez identificado el diagrama de bloques del sistema del control proporcional se puede identificar el error del sistema que es igual a la referencia menos $Y[K]$ que es la medición en el instante, siendo la señal de control la multiplicación entre la constante proporcional por el error.

$$e[k]=Ref$$

proporcional no es tan eficiente ya que va oscilar sobre el valor deseado y podría en algún instante desestabilizar el controlador.

3.2.5.2 Acción Integral

La Figura 15, nos muestra un control de acción integral que basa su funcionamiento en resetear la señal ante la presencia de una señal de error o perturbación en el sistema, una de las fallas de este tipo de sistema es el retraso en la respuesta que tiene al iniciar la medición, pero el cual mejora a medida que el tiempo avanza.

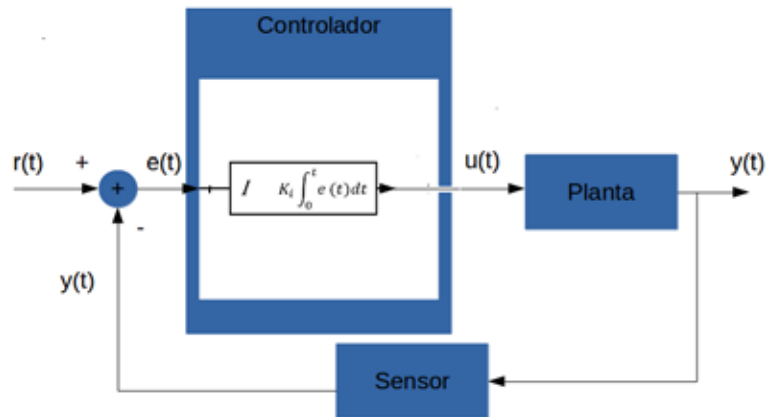


Figura 15. Sistema de control integral

Fuente: <https://images.app.goo.gl/ctjKdS2KVw7bz6ov9>

La acción integral calcula el área bajo la curva, es decir cuánto error se asume mientras la señal siga creciendo. La señal por ser discreta viene dada en rectángulos como se muestra. (ver Figura 16)

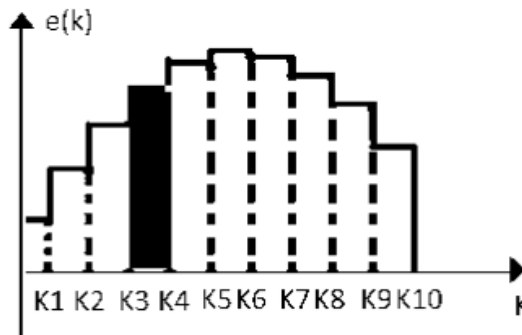


Figura 16. Señal de Acción derivativa

Fuente: Ogata (1999)

Las ecuaciones que acompañan a la acción integral se toma en cada intervalo que se ha modificado la señal, como se aprecia en la Figura 16, el rectángulo que se encuentra sombreado es la incógnita en ese instante de tiempo, pero la idea es sumar todas las áreas de la señal para saber cuánto error existe y poder modificarlo.

$$e(K) = e(K) \times T + e(K-1) \times T$$

Integral del error aproximado

3.2.5.3 Acción Derivativa

La acción derivativa calcula la pendiente de la curva de la señal del error en un instante de tiempo, como se observó en la Figura 17, la señal de error que ingresa es discreta como en los anteriores sistemas, este indica que la señal tendrá que ser medida en intervalos de tiempo. La acción derivativa solamente actúa cuando se produce una variación brusca en la señal del error, si no es el caso este y la señal del error es constante trabajan los modos integral y proporcional.

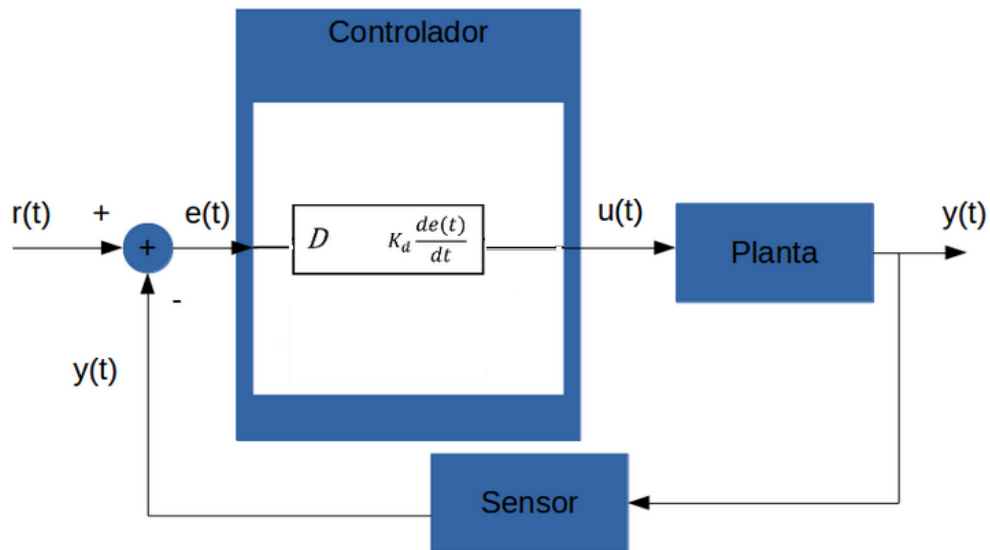


Figura 17. Controlador derivativo

Fuente: <https://images.app.goo.gl/ctjKdS2KVw7bz6ov9>

En la Figura 18 se muestra una señal de error discreta donde se aprecia claramente los dos puntos y la pendiente que se traza la cual es una incógnita hasta el momento, esta imagen permite identificar la ecuación que se aplicara en la tarjeta controladora y que se asemejara en este caso la acción derivativa.

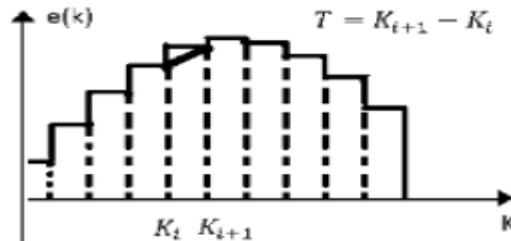


Figura 18. Señal de la acción derivativa
Fuente: Ogata,1999

La derivada para esta señal de error discreto es aproximadamente al error en el instante actual restando el error en el instante pasado dividido para el tiempo de muestreo, obteniendo la aproximación la parte derivativa de un sistema de control PID.

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(Ki+1) - e(Ki)}{T}$$

$$\text{Der} = Kd \frac{e(Ki + 1) - e(Ki)}{T}$$

La acción derivativa basa su funcionamiento en reducir paulatinamente la señal del error con el mismo tiempo que se produce derivando la señal en el tiempo anticipándose a su reacción. Se aplica esta acción esencialmente en el arranque del proceso donde la señal de inicio suele ser demasiada brusca para el sistema.

3.2.5.4 Sistema de control PID completo

Analizado ya la acción proporcional, integral y derivativa se tiene como resultado un sistema de control capaz de actuar rápidamente ante una perturbación (ver Figura 19), se nos muestra el sistema de control PID completo, donde tiene las tres acciones sumadas para controlar la misma planta.

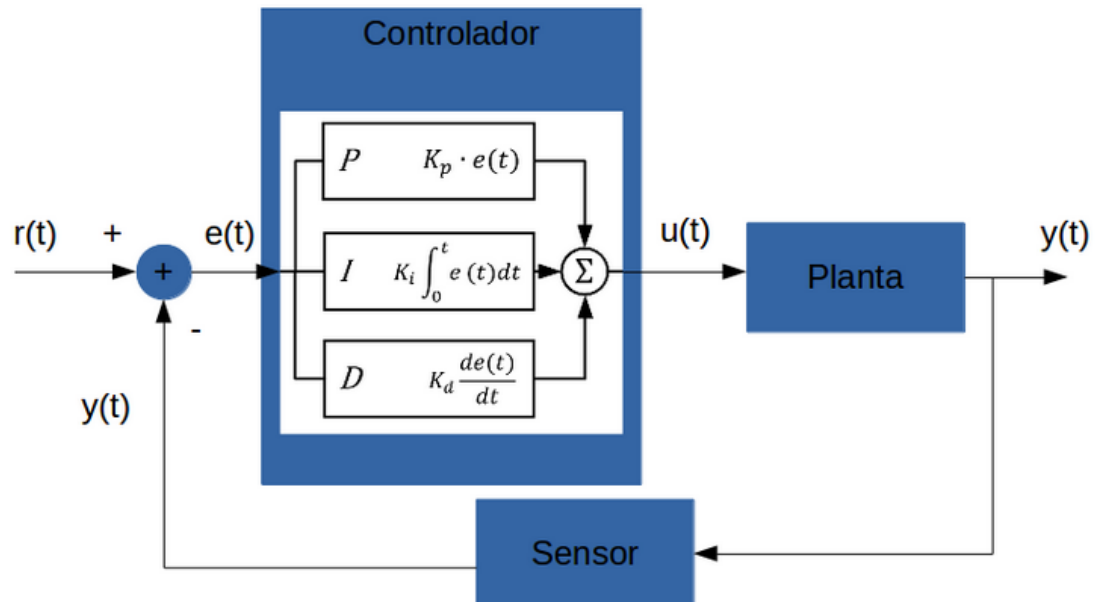


Figura 19. Sistema de control PID

Fuente: <https://images.app.goo.gl/ctjKdS2KVw7bz6ov9>

Ya teniendo las ecuaciones de cada acción de control, se tiene como resultado la suma de cada uno de los controladores es decir se sumará la parte integral, proporcional y derivativa obtenido como resultado la señal de control de la planta.

$$\begin{aligned} \text{Proporcional} &= K_p e[k] \\ \text{Integral} &= K_i [e(k) \times T + e(k-1)] \\ \text{Derivativo} &= K_D \frac{e(k_{i+1}) - e(k_i)}{T} \end{aligned}$$

Dando como resultado la señal de control, siendo la suma de los 3 controladores:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dando como resultado la función de transferencia:

$$C_{PID}(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right)$$

Donde T es el periodo de muestreo, Kp la constante proporcional, Ki la constante integral y Kd la constante derivativa.

3.2.6 Definición de Términos Básicos

Hardware: Es el conjunto de partes físicas tangibles de un sistema informático; como por ejemplo componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

Programación: Proceso que se utiliza para idear y ordenar las acciones que se realizarán en el marco de un proyecto.

Controlador: Mediante los valores obtenidos por los sensores y el valor ingresado por el operador, se calcula los valores que se deben modificar de las variables de control en base a ciertas estrategias.

Sensores: Son dispositivos de obtención de datos del sistema, se encarga de detectar magnitudes físicas y convertirla en una variable eléctrica.

Ventilador: Aparato para ventilar o refrigerar un lugar impulsando aire a una presión moderada, generalmente mediante un motor que hace girar unas aspas.

Señal: La señal es una variación de la corriente eléctrica o de otra magnitud que se utiliza para transmitir información.

Habitáculo: Es la habitación o el edificio que se construye con la finalidad de ser habitado.

Neonato: También conocido como recién nacido es un bebé de cuatro semanas o menos. Un bebé se considera recién nacido hasta que cumple un mes de vida. El período del neonato es definido y es importante porque representa un período corto de la vida cuando los cambios son muy rápidos y cuando se pueden presentar muchos hechos críticos.

Termorregulación: Es la capacidad de los organismos de regular y mantener su temperatura corporal, dentro de ciertos rangos bajo los cuales el organismo puede funcionar, aunque la temperatura ambiental sea muy diferente.

Nivel Sonoro: Es la energía acústica emitida por la fuente de sonido.

Bebe prematuro: Es un bebé nacido antes de 37 semanas completas de gestación (más de 3 semanas antes de la fecha prevista del parto).

Microcontrolador: Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.

Sistema: Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí que funciona como un todo.

Programación: La Programación es el proceso al que se recurre para crear algún tipo de aplicación o software, para materializar un concepto o proyecto que requiere de la utilización de un lenguaje informático para poder llevarse a cabo.

CAPITULO IV MARCO METODOLOGICO

En este capítulo se procede a la explicación de los mecanismos utilizados para el análisis de nuestra problemática de investigación, por lo general se describen las técnicas, métodos y procedimientos que serán empleados para el logro de los objetivos propuestos. Basado en lo anterior descrito Tamayo y Tamayo (2003) definen el marco metodológico como:

“... Un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento, dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con las hipótesis presentadas ante los problemas planteados...” (p.37).

4.1 Tipo de la Investigación

Este Proyecto se define bajo el enfoque de proyecto factible, el cual consiste en base a un modelo operativo, debido a que las soluciones propuestas son completamente prácticas y accesible a la problemática existente, el cual consiste en diseñar el sistema de control para la incubadora neonatal OHIO IC. Por ello definimos proyecto factible según Arias, (2006), “Que se trata de una propuesta de acción para resolver un problema practico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (p.134).

De lo expuesto anteriormente se deduce que, un proyecto factible se compone de un conjunto de acciones vinculadas entre sí, cuya ejecución permitirá la culminación de objetivos previamente definidos, en atención a las necesidades que pueda tener el sujeto de estudio.

Esta investigación se apoya en la necesidad detectada en el sujeto de estudio, para posteriormente realizar una ratificación mediante la investigación documental y bibliográfica que permitirá culminar con una propuesta, de este modo, consiste en la

investigación, elaboración, desarrollo e implementación de un sistema de control basado en la plataforma Arduino para la incubadora OHIO IC.

4.2 Diseño de la Investigación

El diseño en esta investigación es del tipo documental y de campo, puesto que, al basarnos sobre hechos reales, es necesario ejecutar una serie de estrategias que nos permita analizar la situación en la ubicación donde se plantea la problemática, es decir, en las instalaciones donde ejerce su trabajo el Ing. Andreas Reinhard, puesto que hay se encuentra el sujeto de estudio, siguiendo el orden de ideas definimos investigación de campo según la Universidad Pedagógica Libertador (2003):

“Se entiende por investigación de campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales”

Por su parte, definimos la investigación documental según Baena (1985), que “la investigación documental es una técnica que consiste en la selección y compilación de información a través de la lectura y crítica de documentos y materiales bibliográficos, bibliotecas, bibliotecas de periódicos, centros de documentación e información”.

4.3 Nivel de la Investigación

El nivel de esta investigación es descriptivo, ya que consiste en la descripción y caracterización de un sistema de control, con el fin de establecer su estructura para el estudio. A si mismo se define nivel de investigación según Arias (2012), “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere”. (p.24).

4.4 Población y Muestra

En este proyecto se presentará como población las incubadoras neonatales OHIO IC, las cuales se encuentran en las instalaciones de la empresa Andreas Reinhard, al disponer de un único ejemplar de este modelo de incubadora, la muestra será la misma que la población. De este modo se define población según Arias (2006), “Un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas conclusiones de la investigación. Esta queda determinada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p. 81).

De lo anteriormente expuesto, definimos muestra según Arias (2006), “Un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. (p.83). Asimismo, vemos la población y muestra de esta investigación como un objeto finito, del cual se tiene como respaldo el ejemplar ubicado en la empresa.

4.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

En esta investigación se utilizarán las técnicas de recolección de datos tales como: observación directa, revisión documental, lista de cotejo. Por ello según Sabino (2008) define instrumento de recolección de datos como:

Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en sí toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados.

4.5.1 Lista de Cotejo

Según la Universidad Tecnológica Metropolitana (2018), define la lista de cotejo como:

Corresponde a un listado de enunciados que señalan con bastante especificidad, ciertas tareas, acciones, procesos, productos de aprendizaje, o conductas positivas. Frente a cada uno de aquellos enunciados se presentan dos columnas que el observador emplea para registrar si una determinada característica o comportamiento importante de observar está presente o no lo está, es decir, en términos dicotómicos.

De la cita usada, tenemos por lista de cotejo una serie de columnas el cual la persona podrá observar si las piezas disponibles en este caso para la incubadora neonatal OHIO IC, se encuentren funcionales.

4.5.2 Observación Directa

Dentro de este marco, es necesario definir observación directa el cual según Martínez (2018), “La observación directa es un método de recolección de datos que consiste en observar al objeto de estudio dentro de una situación particular. Esto se hace sin intervenir ni alterar el ambiente en el que el objeto se desenvuelve. De lo contrario, los datos obtenidos no serían válidos”. Según lo citado anteriormente, todos los datos usados serán tomados de manera personal, por medio del investigador en la empresa Andreas Reinhard.

4.5.3 Revisión Documental

Por parte de Arias (2006), nos define revisión documental como “Un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”, así mismo, tenemos que es toda la información de terceros, la cual se encuentre y posea relación o características similares al sujeto de estudio.

4.6 Técnicas de Análisis de Resultados

Al aplicar las técnicas e instrumentos de recolección de datos, obteniendo así la mayor cantidad de información acerca del sujeto de estudio en cuestión, se procede al análisis el cual consistirá en dar respuesta a los objetivos planteados a partir de los datos obtenidos, y a la interpretación el cual nos dará un significado a los resultados del análisis mediante la relación de todos los datos obtenidos y el sujeto de estudio.

4.7 Fases Metodológicas

Las fases metodológicas representan el seguimiento detallado de los objetivos específicos planteados anteriormente en este informe, especificando minuciosamente el procedimiento a desarrollar, con el fin de lograr el objetivo general, el cual representa la meta principal de esta investigación.

Fase I. Diagnóstico del funcionamiento de una incubadora neonatal OHIO IC.

Esta fase se realiza con el propósito de diagnosticar el funcionamiento original que tuvo en su momento la incubadora neonatal OHIO IC, para esto se realiza una investigación donde se recopile información, la cual vendrá de la observación del funcionamiento de incubadoras neonatales similares al modelo de estudio, la recolección de toda documentación técnica tanto impresa como digital referente al proceso, tal documentación se obtendrá de los archivos guardados con la incubadora como también se puede obtener a través del fabricante de manera digital.

Se planea hacer énfasis en los modos de trabajos de las incubadoras como lo son:

- Modo de operación con temperatura del aire
- Modo de operación con temperatura de piel.

Fase II. Conocido los parámetros operativos de la incubadora neonatal OHIO IC.

Actividades:

Se procedió a realizar un análisis de los sensores originales encontrados y sus variables a cuantificar en la incubadora OHIO IC.

- Se determinará el correcto funcionamiento de los componentes originales, los cuales aún se encontraban acoplados a la incubadora.
- Se elaborará una tabla de los componentes en correcto funcionamiento encontrados.

Fase III. Diseño del sistema de control para la incubadora neonatal OHIO IC.

Mediante la información obtenida, se realizará el desarrollo del sistema de control PID, el cual se profundizo en el Capítulo III, se obtendrán las constantes del sistema de control a implementar las cuales son K_p , K_i y K_d respectivamente, se utilizará la plataforma Arduino para la implementación del microcontrolador.

Se tomará en consideración la sustitución de los circuitos originales si estos no se encuentran en condiciones, por uno que posea características similares de funcionamiento y posea estándares de seguridad adecuados.

Fase IV. Estudio de factibilidad técnica, económica, ambiental y social de la propuesta.

Luego de haber realizado el diseño en la fase anterior, se dé determinara la factibilidad del diseño para saber si el proyecto es viable y se estudiaran los aportes que ofrece el proyecto al ámbito social y ambiental, así como los beneficios que recibirá la compañía Andreas Reinhard con la investigación.

CAPITULO V RESULTADOS

5.1 FASE I: Diagnóstico del funcionamiento de una incubadora neonatal OHIO IC.

Inicialmente es necesario dar a conocer el funcionamiento que presentan estas incubadoras y todos los procesos y ejecuciones que efectúa para su correcta operatividad, para esto se procedió a la obtención de la información y los datos técnicos fundamentales para el entendimiento completo del proceso a tratar.

De este modo, gran parte de la información reunida se logró de la consulta consecuente del manual de operaciones original de la incubadora neonatal OHIO IC, dicho manual se encontró en formato digital a través de internet el cual era de libre acceso, debido al deterioro y extravió de esta documentación de forma física, también se efectuó una entrevista no estructurada, realizadas al jefe del departamento técnico el cual suministro información de vital importancia para el desarrollo del diagnóstico.



Figura 20. Incubadora neonatal OHIO IC
Fuente: <https://images.app.goo.gl/gwk6ydBVjFE18xwe6>

Es así como, se da a entender que la incubadora proporciona a los recién nacidos críticamente enfermos o de alto riesgo, que son incapaces de regular su propia temperatura, un ambiente en el que la temperatura, la concentración de oxígeno y la humedad relativa, puedan ser regulados. En esta situación es de especial importancia, los requerimientos de oxígeno, ya que estos niños son propensos a problemas respiratorios, debido a que sus pulmones no son capaces de suministrar el suficiente oxígeno. Actualmente existen varios principios de calentamiento en el que se basa el funcionamiento de las incubadoras.

Los más comunes, son los de calentamiento del aire por convección y los de calentamiento por radiación. Básicamente el sistema que utiliza el calentamiento por convección trabaja haciendo pasar aire con temperatura controlada a través de la cabina que aloja al bebé para mantenerlo a la temperatura deseada. En los equipos modernos, la temperatura es regulada utilizando un sistema de control proporcional. En principio la temperatura del flujo de aire hace variar la resistencia del sensor de temperatura o “termistor”, la cual es comparada a una resistencia que corresponde a la temperatura deseada. Algunos modos de operación de la incubadora utilizan la temperatura de la piel del infante como parámetro de control. En esta modalidad el sensor o “termistor” debe ser colocado directamente a la piel.

Así mismo, toda incubadora cuenta con un sistema visual y audible de alarmas para alertar de cualquier situación peligrosa. En situaciones especiales en que la condición del niño requiere supervisión más de cerca del personal clínico, se debe realizar procedimientos especiales y/o utilizar varios equipos terapéuticos o de monitoreo; es práctica común utilizar incubadoras con el principio de calentamiento por radiación. En este tipo de incubadora el bebé se acuesta bajo un elemento radiador de calor. Paredes pequeñas rodean al bebé para evitar que se caiga, el resto del área que rodea al bebé está abierto, permitiendo el acceso al paciente.

El elemento radiador consiste en un sistema de calentamiento eléctrico tal como las bobinas hechas de alambre con alta resistividad, utilizada comúnmente en los calentadores eléctricos. Una superficie metálica reflectora es colocada arriba del elemento radiador para ayudar a enfocar la energía radiante sobre el área de interés. La corriente eléctrica que pasa a través del elemento radiador debe ser controlada cuidadosamente para suministrar el suficiente calor, para mantener la temperatura del bebé sin llegar a un sobrecalentamiento. Sistemas de control proporcional son empleados para efectuar esta regulación.

El sensor de temperatura o “termistor” se coloca sobre el pecho o abdomen del infante para medir la temperatura a nivel de piel. Hay que tomar en cuenta que el “termistor” podría calentarse por la energía radiante y por consiguiente proporcionar una lectura errónea. Para combatir este fenómeno, el “termistor” se sujeta a la piel del bebé a través de una cinta especial que consiste en una base de espuma con una superficie metálica brillante, para así reflejar la energía radiante sobre el sensor.

5.1.1 Descripción física de la incubadora

Dentro de este marco se describirá las partes que componen la incubadora con control de temperatura por aire, estas serán divididas en los siguientes componentes:

5.1.1.1 Compartimiento para el Bebe

El ambiente que rodea al neonato está aislado a través de paredes y compuertas de acrílico transparente. El acceso al bebé es realizado utilizando compuertas de brazo o la compuerta principal de la cabina.



Figura 21. Cabina del neonato

Fuente: <https://images.app.goo.gl/BcGRdBzi2v28Jiwu5>

5.1.1.2 Circulación del Aire

El aire caliente que proviene del ventilador pasa entre las paredes de la cubierta siguiendo toda la curvatura de la cabina, como se muestra en la Figura 21, para luego mezclarse con aire fresco u oxígeno y entrar a la unidad de tratamiento para el aire como puede ser el calentador, filtro, humidificador y ventilador.

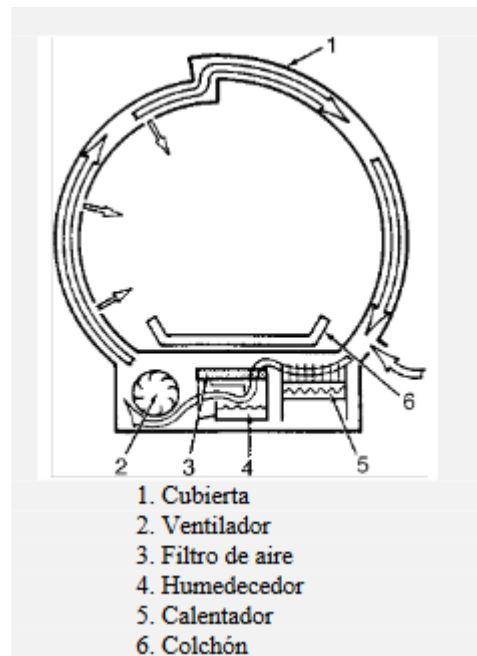


Figura 22. Componentes involucrados en la circulación del aire

Fuente: Manual de operación para Incubadora Infantil

5.1.2 Sistema de Control

La mayoría de incubadoras modernas tienen un sistema de control a través de microprocesador, que incluye dos o tres sensores de temperatura. Esto da la versatilidad al equipo de usar como parámetro de control ya sea la temperatura del aire o la temperatura de la piel del bebé.



Figura 23. Panel de Monitoreo y Control

Fuente: López Miguel (2019)

5.1.2.1 Modo de Operación Manual (Manual Mode)

En este modo de operación, la temperatura dentro de la incubadora puede ser mantenida en el rango de 22°C a 38°C. La temperatura es medida por uno o dos sensores dentro de la cabina y puede ser fijada al valor deseado, a través del panel de control. Un sensor adicional sirve para limitar la temperatura máxima del aire a 40°C, aproximadamente. Si este límite es alcanzado, una alarma es activada y el calentador se desconecta automáticamente.

En esta forma de operación, la temperatura del bebé es función tanto de la temperatura del aire como de su habilidad para establecer y mantener su propia temperatura.



Figura 24. Modo de Operación Manual

Fuente: López Miguel (2019)

5.1.2.2 Modo de Operación con Temperatura de Piel (Servo Mode)

En este modo de operación, la temperatura de la piel en el bebé puede ser controlada típicamente entre el rango de 34°C a 38°C. Una sonda con un sensor de temperatura es colocada directamente a la piel del infante.

El sensor de temperatura de piel deberá ser localizado en el abdomen, en un punto medio entre el ombligo y la zona pélvica, a una distancia de no menos de 4cm de cualquier monitor transcutáneo. El área de la piel sobre la que será colocado el sensor deberá estar limpia y seca, y no haber sido ocupada previamente por monitores transcutáneos.

Sí el sensor por cualquier razón pierde el contacto con la piel una alarma es activada. En este modo la temperatura máxima es limitada también a 40°C.



Figura 25. Modo de Operación Servo Controlado

Fuente: López Miguel (2019)

5.1.3 Sistema de Alarmas

La mayoría de incubadoras modernas cada vez que se encienden, automáticamente activan una secuencia para examinar el buen funcionamiento tanto visual como audible de las alarmas.



Figura 26. Indicativos de Alarmas

Fuente: López Miguel (2019)

De este modo, podemos encontrar las alarmas que más comúnmente se utilizan en las incubadoras neonatales estas se dividen:

5.1.3.1 Alarma de flujo de Aire

El sensor que controla esta alarma está ubicado en la trayectoria normal del aire que mueve el ventilador. Si el flujo de aire para debido a una falla en el ventilador, la temperatura del sensor aumenta accionando la alarma. Esta alarma no puede ser silenciada hasta que sea corregida la falla.

5.1.3.2 Alarma de Alta Temperatura

Esta alarma es accionada cuando la temperatura dentro de la incubadora alcanza los 40°C. Esta alarma no podrá ser silenciada sin antes corregir la anomalía.



Figura 27. Sistema o Sobre Temperatura

Fuente: López Miguel (2019)

5.1.3.3 Alarma de Monitoreo de Temperatura

Una sección especial del programa se utiliza para monitorear los sensores de temperatura de aire y de piel buscando condiciones de cortocircuito, circuito abierto o desconexión. Un indicador de luz intermitente y una alarma audible son accionados indicando alguna anomalía en la temperatura de aire o de piel. Esta alarma puede ser accionada también si el sensor pierde contacto con la piel.



Figura 28. Indicativo de Fallo de Sistema

Fuente: López Miguel (2019)

5.1.4 Accesorios para la Incubadora

Las incubadoras al ser equipo médico con múltiples propósitos para el cuidado de un recién nacido, es capaz de expandir sus capacidades a través de accesorios para el tratamiento adecuado de este, es por esto que podemos encontrar los siguientes accesorios:

5.1.4.1 Lámparas para Fototerapia

Los módulos de Fototerapia para incubadora normalmente contienen 3 o 4 lámparas halógenas de Cuarzo conectadas en serie. Este tipo de sistema provee un nivel de irradiación al centro del colchón aproximadamente de $9 \text{ W/cm}^2/\text{m}$, en el rango de longitud de onda entre 400 a 500 m para tratar pacientes con hiperbilirrubina.



Figura 29. Uso de la Lámpara para Fototerapia en Incubadora

Fuente: <https://images.app.goo.gl/5nJqq3xhSsmvji9n9>

5.1.4.2 Componente Emisor de Calor

El radiador de calor debe ser utilizado por un período limitado de tiempo bajo la cercana supervisión del personal clínico. Para el uso de este accesorio se debe retirar totalmente la cubierta de la incubadora. Típicamente cada 15 minutos una alarma se acciona y automáticamente se desconecta el calentador. Después de examinar la condición del bebé, el operador puede poner en funcionamiento de nuevo el calentador.

5.1.4.3 Sistema de Administración de Oxígeno

El oxígeno es normalmente administrado de válvulas instaladas en la pared o de tanques de oxígeno. Una mascarilla o un compartimento cerrado deben ser usados para mantener las condiciones atmosféricas deseadas.

Es importante remarcar que el uso inapropiado del suministro del oxígeno puede ser asociado con serios problemas como ceguera, daño cerebral o muerte.

5.1.4.4 Sistema de Humectación

El reservorio del humidificador debe ser llenado con agua esterilizada y destilada. Normalmente con llenar una vez el reservorio es suficiente para la operación del día. Bajo estas condiciones la humedad relativa dentro de la incubadora es típicamente entre 50 y 60 %. Algunas incubadoras miden la humedad relativa utilizando tarjetas desechables montadas dentro de la cabina. Esta tarjeta debe ser cambiada cada vez que la incubadora sea limpiada o después de cada uso.

5.1.5 Descripción de cómo usar la Incubadora

Para un correcto uso del equipo es de vital importancia seguir y tener en cuenta el orden de las siguientes indicaciones:

1. Desconecte el cable de alimentación del aparato.
2. Extraiga el módulo de control.
3. Limpie el equipo en todas sus partes.
4. Conecte el cable de alimentación del aparato.
5. Mediante el selector de control, ver Figura 30, seleccione el modo de control de Temperatura.



Figura 30. Selector para el Control de Temperatura

Fuente: López Miguel (2019)

6. Mediante el control del selector, ajuste la temperatura de la incubadora.
7. Cuando el termostato montado en la cubierta de la incubadora indique la temperatura deseada para el funcionamiento de la incubadora, disminuya la temperatura con el control del termostato hasta que se apague la lámpara piloto del calefactor.
8. Si así se desea, puede observarse en forma continua la temperatura cutánea del recién nacido.
9. Mantenga una temperatura estable, entre 32° C y 37° C.

5.1.6 Estado Actual de la Incubadora

Con lo anteriormente expuesto, se ha dado a mostrar como es el funcionamiento de una incubadora neonatal, ahora la incubadora que se trató en este trabajo se encontraba en un estado de abandono y deterioro por razones ya expuestas, con esto se puede observar en la imagen. (Ver Figura 31).



Figura 31. Estado de deterioro en la incubadora

Fuente: López Miguel (2019)

De la imagen podemos observar el estado en el cual se encontraba la incubadora antes de la restauración que se planteó realizar para la recuperación del equipo.



Figura 32. Componentes Internos

Fuente: López Miguel (2019)

De la Figura 32 se observó el interior de la cabina, la cual alberga los componentes eléctricos que se utilizan para su funcionamiento principal; control de temperatura, se observan los sensores principales encargados de cuantificar la temperatura del aire, el motor eléctrico con acople centrifugo y la resistencia eléctrica o niquelina la cual genera el calor necesario para el proceso.



Figura 33. Base sujetadora de la Incubadora

Fuente: López Miguel (2019)

En la Figura 33, se puede observar el estado en el cual la base o estante para la cabina y todo el sistema de la incubadora se encontraba; el cual estaba bastante completo incluyendo los metales del soporte y la madera de los gabinetes, la cual se procedería a remplazar, teniendo eso presente la base se encontraba en un estado recuperable.

5.2 Fase II. Conocer los parámetros operativos de la incubadora neonatal OHIO IC.

En esta fase se procederá a abarcar la explicación de los dispositivos o parámetros operativos de la incubadora neonatal, como la resistencia eléctrica la cual proporciona la fuente de calor, el ventilador centrifugo el cual proporciona el flujo de aire, el sensor de temperatura del ambiente y el sensor de piel, dependiendo del modo

de trabajo sea el “Manual Mode” o el “Servo Mode” estos elementos desempeñaran diferentes funciones en el sistema.

5.2.1 Resistencia Eléctrica

Las resistencias eléctricas poseen un funcionamiento básico, la energía eléctrica conectada que pasa a través de ella será transformado en calor. El calor emitido dependerá del tiempo el cual se suministre energía. En orden a lo dictado en la ley de joule se dice que la cantidad de calor emitido por una resistencia es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente y directamente proporcional al valor de la resistencia y al tiempo de actuación.

Siguiendo el orden de ideas, la resistencia la cual se trabajó, ver Figura 34 es una de la marca MINCO PRODUCTS INC, del modelo de producción HR78717, como se muestra en la figura 35, dicha resistencia posee características, tales como el voltaje de operación 120 V en este caso y una potencia de disipación de 415W.



Figura 34. Resistencia Eléctrica de la Incubadora

Fuente: López Miguel (2019)



Figura 35. Características Técnicas de la Resistencia

Fuente: López Miguel (2019)

Además, al tratarse de una resistencia usada para el control de temperatura dentro de la capsula donde se encontrará el bebe, posee un termostato de protección, ver Figura 36, el cual evitará en todo momento que la corriente suministrada sea cortada si la temperatura en la resistencia alcanza valores elevados, los cuales puedan afectar la salud del neonato.



Figura 36. Termostato de Protección

Fuente: López Miguel (2019)

5.2.2 Ventilador Centrifugo

Elemento de vital importancia en el proceso de control, el ventilador tiene como función estar constantemente operando, debido a que si este llega a fallar la circulación de aire dentro de la capsula se ve comprometida, lo cual puede poner en riesgo al bebe. El motor eléctrico el cual desempeñara una función como ventilador, ver Figura 37.

Posee además características de operación las cuales fueron obtenidas del equipo, ver Tabla 6.

Tabla 6. Características Eléctricas del Motor

Marca	Reliance Electric
Voltaje de Operación Nominal	115V
Potencia Nominal	1/250 HP
RPM	1250 Rpm

Fuente: Geekfactory (2019)



Figura 37. Motor Eléctrico

Fuente: López Miguel (2019)

A su vez, es necesario un acople centrífugo, ver Figura 38, permitiendo a si la circulación de aire, tanto el aire controlado por el sistema implementado, como si es necesario el uso de otros gases para él bebe dentro de la cabina,



Figura 38. Motor Eléctrico con Acople Centrifugo

Fuente: López Miguel (2019)

5.2.3 Sensores de Temperatura (Termistores del Tipo NTC)

El sensor termistor es un componente electrónico el cual basa su funcionamiento en la adquisición de la temperatura y convertirla en un valor de resistencia eléctrica, este sensor es utilizado porque brinda rapidez en la adquisición de datos y posee una alta confiabilidad en la lectura, con márgenes de errores muy reducidos ideales para este tipo de implementación. Ahora, se posee 2 tipos de sensores:

5.2.3.1 Termistor de Piel

El sensor utilizado para la adquisición de la temperatura en la piel del bebe, es un termistor ntc de 10k, ver Figura 39, el sensor basa su funcionamiento en la variación de la resistencia de acuerdo a la temperatura, al ser un ntc a mayor temperatura menor resistencia eléctrica proporcionara, este sensor brinda confiabilidad para la lectura de los datos.



Figura 39. Sensor de Temperatura en Piel

Fuente: López Miguel (2019)

5.2.3.2 Termistores de Capsula

La obtención de la temperatura dentro de la capsula se debe a dos termistores tipo ntc de 10, ver Figura 40, los cuales están ubicados en putos específicos dentro de esta, proporcionan un promedio general de la temperatura dentro de la capsula, al igual que al termistor de piel basan su funcionamiento en la variación de la resistencia eléctrica de acuerdo a la temperatura leídas.



Figura 40. Sensor de Temperatura de la Capsula

Fuente: López Miguel (2019)

5.2.4 Pantalla LCD con Modulo I2C

La LCD es una pantalla de 16x2, ver Figura 41, la cual nos brinda la capacidad de 16 caracteres de cualquier tipo en 2 filas, esta nos permite mostrar al usuario valores de interés para la correcta supervisión y control del proceso, como pueden ser el SetPoint seleccionado, la temperatura de la capsula o la temperatura corporal del bebe, todos estos datos necesarios para la correcta operatividad.



Figura 41. Pantalla LCD 16x2
Fuente: López Miguel (2019)

Tabla 7. Características de la Pantalla LCD 16x2

Modo de Operación	4 y 8 bits
Color	Fondo Azul, Letras Blancas
Voltaje de Operación	4.5 – 5.5 V
Dimensiones	8 × 0.8 × 3.6 cm

Fuente: Geekfactory (2019)

Estas pantallas cuentan con iluminación de fondo azul con letras blancas. El chip controlador de esta pantalla es enormemente común y el código necesario se encuentra disponible libremente en internet. Se puede utilizar fácilmente con cualquier microcontrolador que tenga al menos 6 pines disponibles.

5.2.4.1 Modulo I2C PCF8574

Este módulo, ver Figura 42, nos permite conectar la pantalla utilizando únicamente 2 pines analógicos, con este adaptador se puede convertir cualquier pantalla estándar de 16x2 en una pantalla LCD serial, la cual anteriormente era necesario la conexión de 6 pines digitales.

Esto nos libera una gran carga en el uso de los pines digitales en el controlador simplificando su adaptación y aumentando la capacidad de conectar otros elementos compatibles con el protocolo de comunicación I2C.



Figura 42. Pantalla LCD 16x2 con Modulo I2C Integrado
Fuente: López Miguel (2019)

Como se puede observar en la figura anterior, el módulo I2C PCF8574 ya se encuentra soldado (Unido o Acoplado), a la pantalla LCD 16x2, lo cual facilita el uso de esta permitiendo disminuir la cantidad de conexiones necesarias para su funcionamiento, las características de este módulo se aprecian a continuación:

- Solamente 4 líneas en total (incluyendo alimentación) para conectar una pantalla al microcontrolador.
- Soporta múltiples dispositivos en el mismo bus I2C.
- Jumpers soldables para selección de dirección en el bus I2C, pueden coexistir varios de estos módulos en el mismo bus I2C.
- Compatible con pantalla LCD 16x2 o 20x4.
- Se pueden colocar varias pantallas en el mismo bus.
- Librería dispone para Arduino que facilita el uso de este accesorio.

5.3 Fase III. Diseño del sistema de control para la incubadora neonatal OHIO IC.

En esta fase se explicarán las características esenciales de algunos elementos que se usaron en la construcción del sistema de control para la incubadora neonatal, el cálculo de las variables de control PID la cual se usó para controlar la temperatura mediante la resistencia eléctrica, así como otros elementos de interés.

El software de Arduino para la propuesta se encargará de procesar las señales de los sensores de temperatura para mostrar esa información en la pantalla LCD, ya sea la temperatura ambiental o la corporal, a su vez se usará esta información para comparar las lecturas con el setpoint seleccionado por el operador o a su vez por el valor inicial de encendido, el software se encargará de los sensores de temperatura y los actuadores utilizados para calentar el aire que ingresa a la capsula.

Las señales analógicas de los botones de navegación serán leídas por la tarjeta Arduino Uno, y procesada por el software incorporado, esto para el cambio de modos, además el software activa una serie de alarma audible si la temperatura sobrepasa los parámetros establecidos.

5.3.1 Estructura General de la Incubadora Neonatal

La distribución de los elementos a incorporar en el diseño se puede ver en la Figura 43, donde tenemos el controlador programable en el centro del diagrama, el cual tiene interacción directa con todos los elementos del sistema; se alimenta de una fuente de energía conmutada la cual recibe 120V Ac y la transforma en 12v continuos, recibe y manda información al panel visualizador el cual será visto por el operario, procesa las señales recibida por parte de los sensores de temperatura para así actuar sobre un relé de estado sólido el cual controlara la corriente que circulara por la resistencia eléctrica la cual posee un termostato de protección y una alimentación de 120V Ac.

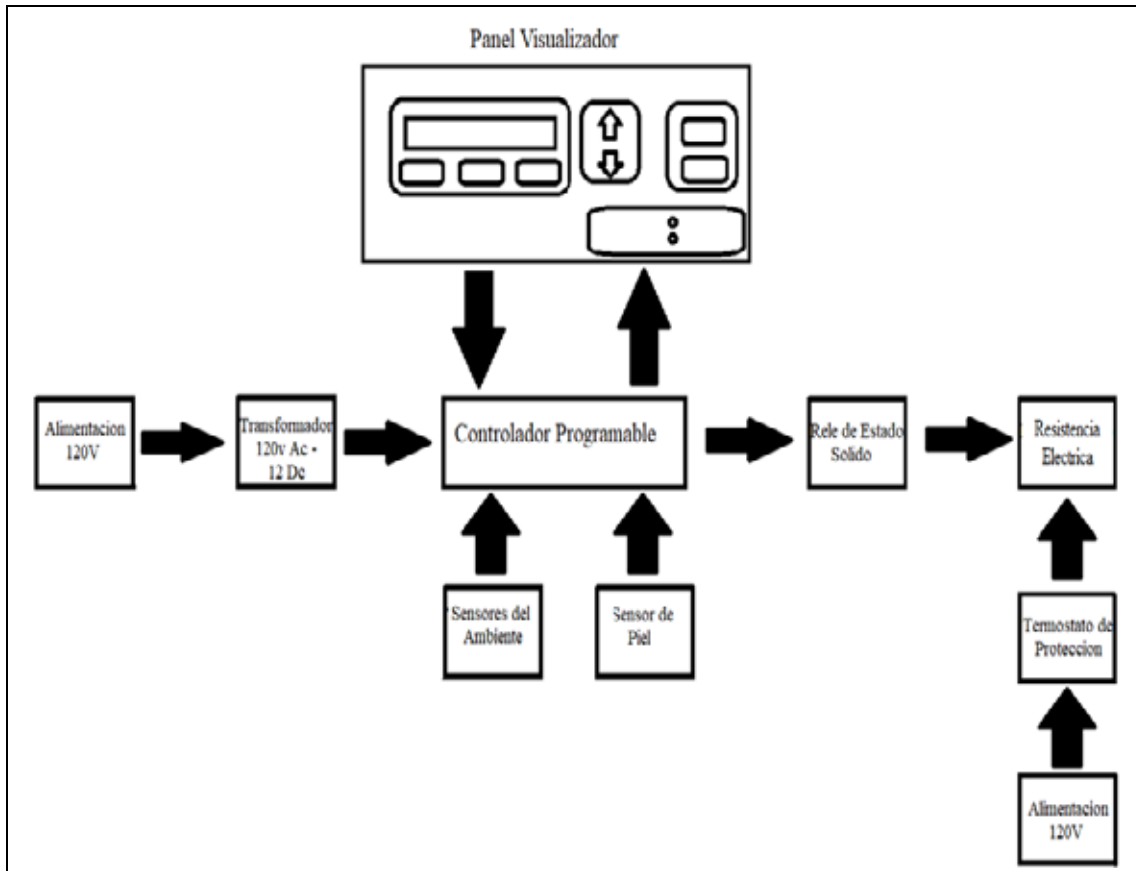


Figura 43. Diagrama de Bloques de la Estructura General para el Diseño

Fuente: López, Miguel (2019)

5.3.2 Estructura del Sistema Mecánico

La base de la incubadora neonatal tiene un ventilador centrífugo incorporado el cual trasmite el calor de la resistencia eléctrica por convección, es decir, envía un flujo de aire caliente hacia el interior de la capsula. Los sensores dentro censaran la temperatura y enviaran esta información al microcontrolador el cual enviara la señal al actuador que controla la resistencia eléctrica para suministrar más o menos corriente, por ende, más o menos calor para así establecer la temperatura deseada, la Figura 44 muestra el proceso que sigue para la calefacción de la incubadora.

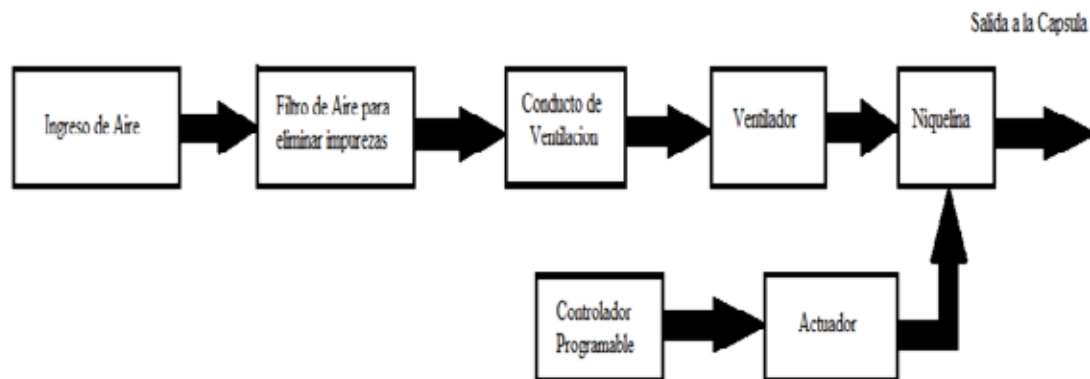


Figura 44. Diagrama de Bloques del Proceso de Calefacción en la Capsula

Fuente: López, Miguel (2019)

De acuerdo a las normativas a seguir, el conjunto mecánico junto al proceso de control y monitoreo dentro de la capsula sigan los siguientes aspectos:

- La temperatura que rodea al neonato debe estabilizarse en el valor establecido por el operador y no sobrepasar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
- La temperatura de estado inicial de la incubadora debe estar entre los 32°C Y 36°C .
- La precisión del sensor de temperatura del neonato no debe sobrepasar los $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
- Un sistema de alarma que indique el momento que un sensor está funcionando de una manera inadecuada y también de excesos de temperatura.

5.3.3 Descripción del Sistema de Control de Temperatura de la Incubadora

En el diagrama general de funcionamiento, ver Figura 45, se puede observar que la incubadora presenta 2 modos de operación: el primer modo “ManualMode” donde se activa al encender el equipo y no hace falta la intervención del operario, esta primera encendida se basa en controlar la temperatura dentro de la capsula a una temperatura setpoint de 32°C , usando como referencia los dos sensores de temperatura ambiente NTC 10K.

También, tenemos el modo “ServoMode” el cual requiere la intervención del operador para su activación mediante el panel de control, este basará su funcionamiento en controlar la temperatura dentro de la capsula a un setpoint por defecto de 32°C, tomando como referencia el sensor NTC 10K de piel, para varias el setpoint el operador deberá hacerlo a través del panel de control.

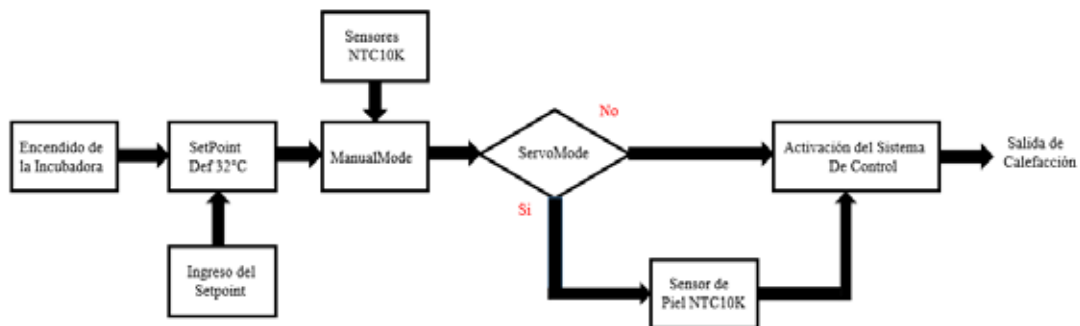


Figura 45. Diagrama de Bloques del Proceso de Calefacción en la Capsula
Fuente: López, Miguel (2019)

5.3.4 Dimensionamiento de los elementos principales de la incubadora

En el capítulo 3, se detallaron las características técnicas principales necesarias de los elementos que constituyen la propuesta de la incubadora como son; tarjeta de control, sensores y actuadores. A continuación, se explicará el uso y dimensionamiento de los dispositivos aplicados a la incubadora neonatal.

5.3.4.1 Fuente de Alimentación

Se utilizó una fuente conmutada la alimentación para la alimentación del panel de control, las características técnicas, ver Tabla 8, satisfacen la carga eléctrica que presenta el equipo.

Tabla 8. Descripción de la Fuente de Alimentación

Voltaje de Entrada	110 ~ 220 V AC
Voltaje de Salida	+5V /19A +12V /20A
Potencia Máxima de Salida	500W
Temperatura de Funcionamiento	50°C

Fuente: Getttech (2019)

La fuente suministra la energía a la tarjeta de control, sensores y actuadores de la incubadora neonatal, se escogió esta fuente de alimentación por su bajo costo y su disponibilidad en el mercado, además posee 2 distintos voltajes de salida para la alimentación que son: +5V y +12V, estas fuentes poseen un fusible de protección que protegerá los circuitos electrónicos ante un corto circuito o una variación de voltaje, la fuente alimenta las secciones del sistema de control de la incubadora como se puede ver en la Figura 46.

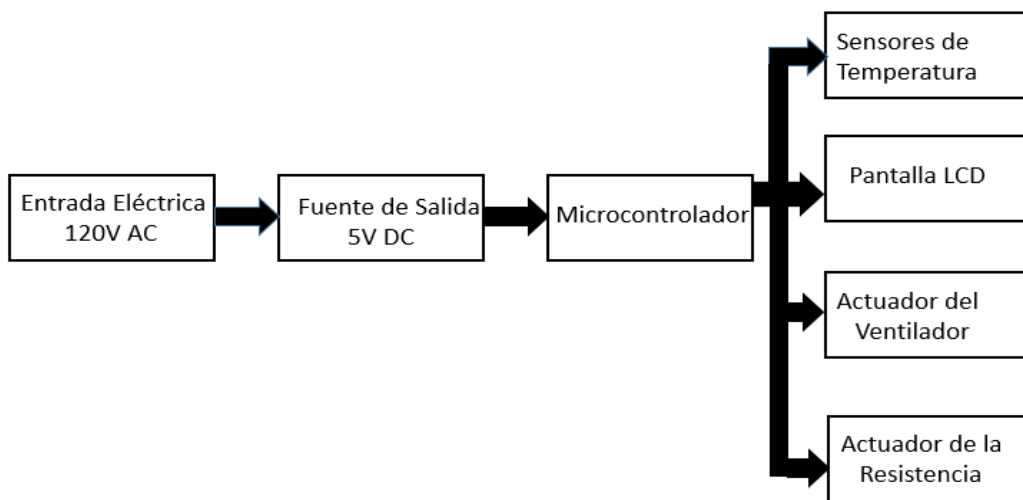


Figura 46. Alimentación Eléctrica de los Diferentes Elementos
Fuente: López, Miguel (2019)

5.3.4.2 Controlador Principal (Tarjeta de Control)

Para esta propuesta se optó por la tarjeta controladora **Arduino Uno**, ver Figura 47, cuyas características técnicas se detallaron con anterioridad en el Capítulo 3 Sección 3.2.4.2, se optó por este microcontrolador por poseer la capacidad requerida en puertos de entradas y salidas tanto digitales como analógicas, además de su reducido costo como se mostrará más adelante.

Es el dispositivo el cual se usó para la adquisición de las señales de los sensores de temperatura y envió de señales de control.

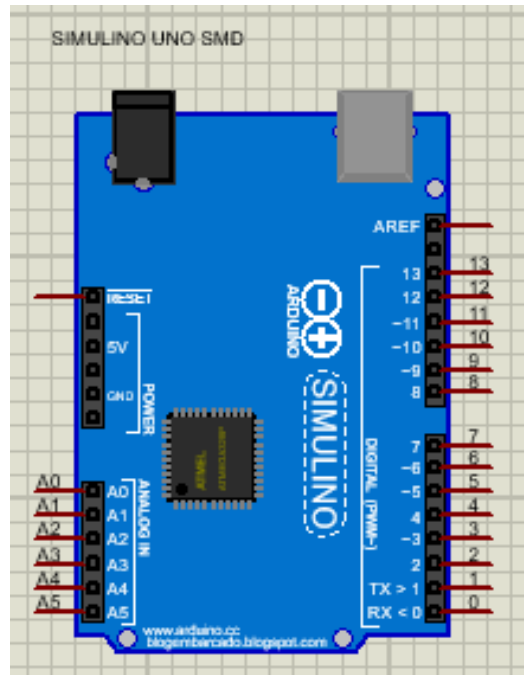


Figura 47. Arduino Uno Simulado Proporcionado por Proteus
Fuente: López, Miguel (2019)

En la figura se puede observar la distribución de los pines analógicos los cuales se encuentran en el lado izquierdo y los pines digitales del lado derecho, los cuales recibirán y mandarán toda la información necesaria para el monitoreo y control, tanto de los modos de trabajo como el panel de visualización para el operador.

5.3.4.3 Ventilador Centrifugo

Para el flujo del aire de la incubadora el ventilador centrifugo cuyas características técnicas se detallaron en la sección 5.2.2. El ventilador es un parámetro el cual su activación es controlado por la tarjeta Arduino a través de un relé, ver figura 48, el cual operara indiferentemente del setpoint o la temperatura actual.

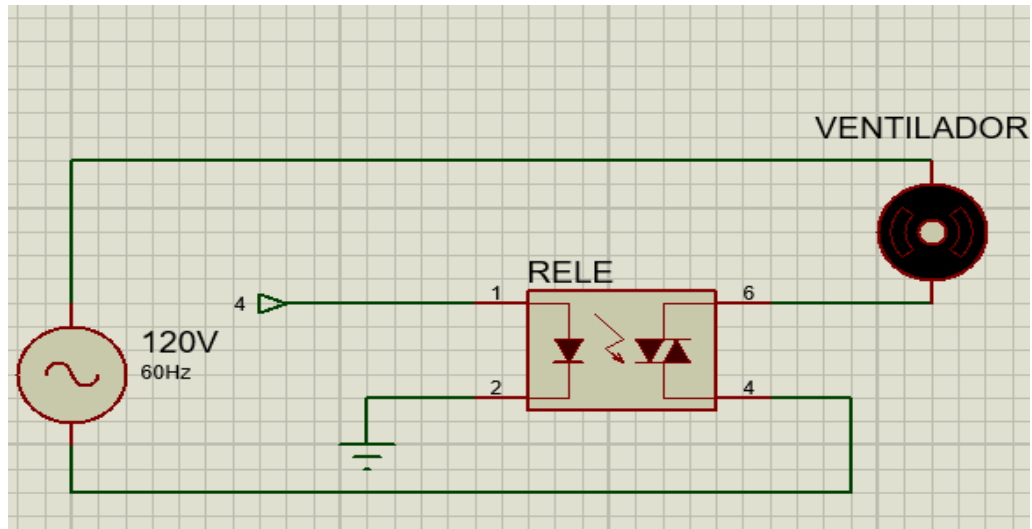


Figura 48. Activación del Ventilador Centrifugo
Fuente: López, Miguel (2019)

El ventilador es alimentado por una fuente AC de 120V la cual se activa una vez encendido el equipo, su activación es independiente del estado de la resistencia eléctrica o de las mediciones de los sensores. La fuente de voltaje va en serie con el ventilador el cual se acopla al relé cerrando el circuito, la activación del relé permitirá la circulación de la corriente a través del ventilador, el relé es activado una vez reciba una señal de +5V DC, la cual proviene del pin #4 del Arduino.

5.3.4.4 Resistencia Eléctrica

Para el control de la temperatura se utilizó la resistencia la cual se describió en la sección 5.2.1, la cual es controlada por la tarjeta Arduino a través de una salida PWM y un actuador, que regulan la temperatura hasta llegar al setpoint establecido por el operador, en la figura 49 se muestra el proceso.

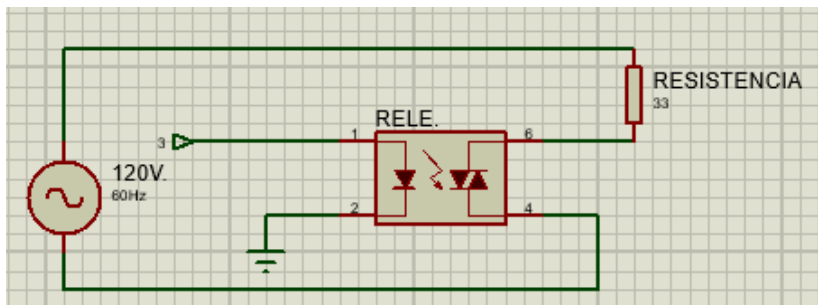


Figura 49. Activación de la Resistencia Eléctrica
Fuente: López, Miguel (2019)

La resistencia al igual que el ventilador es alimentada por una fuente AC de 120V, y conectada en serie con el actuador el cual cerrara el circuito permitiendo la circulación de corriente, a diferencia del ventilador el pin #3 del Arduino será el encargado de hacer activar el actuador mediante un PWM el cual variara la intensidad de corriente controlando así la temperatura de salida del aire.

5.3.4.5 Censado de Temperatura

Los sensores encargados de censar la temperatura ambiente dentro de la capsula son 3 Termistores NTC 10K, los cuales son muy eficientes para funcionar en condiciones de humedad con un rango de medición entre -20°C y $+110^{\circ}\text{C}$, poseen una exactitud de 0.1°C cumpliendo las normativas exigidas, el funcionamiento del NTC va de mayor temperatura, menor resistencia por lo que se realiza un divisor de tensión, con una resistencia de 10k.

Cada sensor se pondrá en serie con una resistencia de 10k, porque su valor alcanzará un entorno de 25°C , este valor está dentro de la escala habitual de medición en este tipo de Termistores,

Un Termistor NTC no tiene un comportamiento lineal, por lo que la variación de la resistencia puede significar cambios mínimos o bruscos de temperatura, por lo que se utilizó una calculadora llamada Thermistor Calculator, ver Figura 50 la cual ayudo a obtener los parámetros necesarios para la ecuación que facilitara la transformación de tensión en grados Celsius.

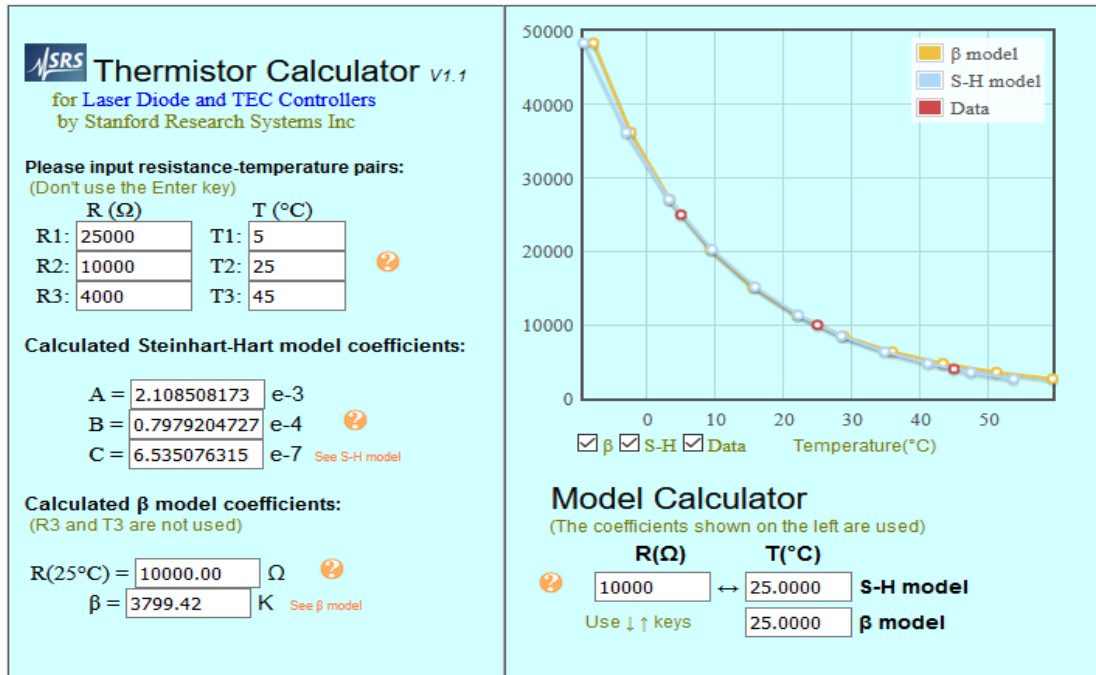


Figura 50. Calculadora para Termistores NTC

Fuente: López, Miguel (2019)

5.3.4.5.1 Temperatura Ambiente

Como se mencionó anteriormente, 3 sensor de temperatura posee todo el equipo de los cuales 2 se encargan de censar la temperatura dentro de la capsula los cuales se encuentran distribuidos de manera tal, ver Figura 51, que se pueda hacer un promedio general de la temperatura general dentro, con el fin de acercarse a la lectura más adecuada con la realidad.



Figura 51. Posición de los Sensores de Ambiente

Fuente: López, Miguel (2019)

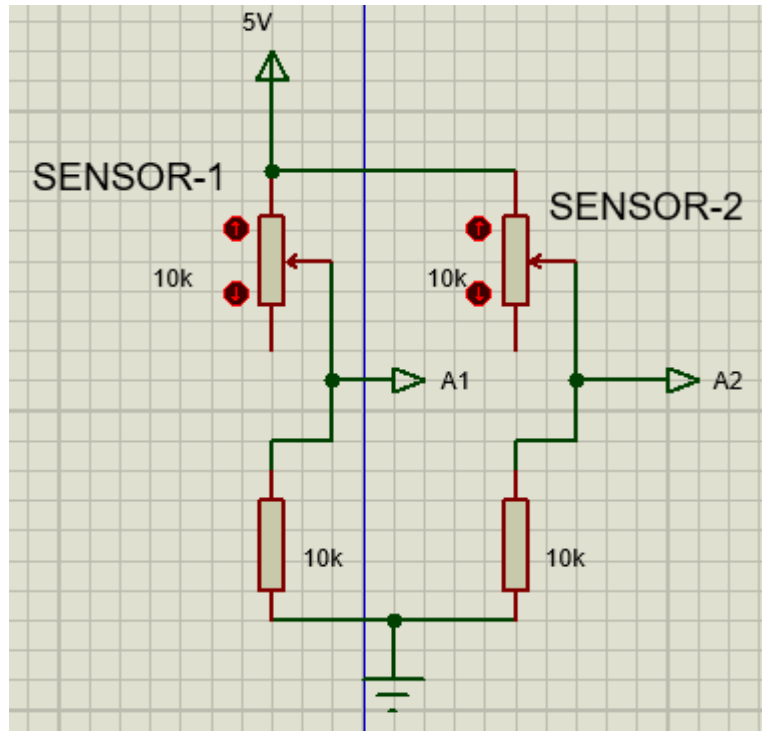


Figura 52. Lectura de Tensión en los Sensores
Fuente: López, Miguel (2019)

En la Figura 52 se muestra el arreglo para el divisor de tensión en ambos sensores, los cuales mandan los datos a los pines #A1 y #A2 respectivamente del Arduino.

5.3.4.5.2 Temperatura del Neonato

El tercer sensor de temperatura es usado para la medición de la temperatura en la piel del neonato, el modo ServoMode utiliza esta medición para el control de la temperatura en la capsula de acuerdo al sensor de piel, al igual que los sensores de ambiente este elemento es un Termistor NTC 10k, por lo cual los modos de leer y analizar los valores obtenidos por medio de la ecuación son lo mismo, facilitando su implementación como se puede ver en la Figura 53.

En la imagen se puede apreciar el mismo arreglo para la división de tensión como el caso de los sensores de temperatura de ambiente, siendo el caso que la información recibida ahora es por el pin #A3 del Arduino.

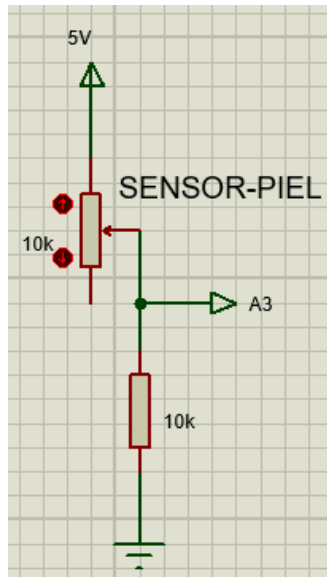


Figura 53. Lectura de Tensión en los Sensores
Fuente: López, Miguel (2019)

5.3.4.6 Panel Frontal de Control

Este panel utilizado principalmente por el operador es fundamental para su utilización, toda la característica de su uso se explicó en la sección 5.1.1.3, se decidió reemplazar los Display originales por una pantalla LCD la cual simplificará la visualización de los parámetros de interés como lo es la temperatura ambiental, la temperatura en piel del neonato y el control del setpoint. Ahora, para la interpretación de las señales enviadas por el panel frontal, ver Figura 54.



Figura 54. Conexión del Panel Frontal
Fuente: López, Miguel (2019)

Al analizar el panel se encontró que posee un funcionamiento tipo suiche, se encontró un pin común “C” entre todos lo cual permitió hacer un arreglo entre resistencias para simplificar el análisis de la lectura, al Arduino como se puede ver en la Figura 55.

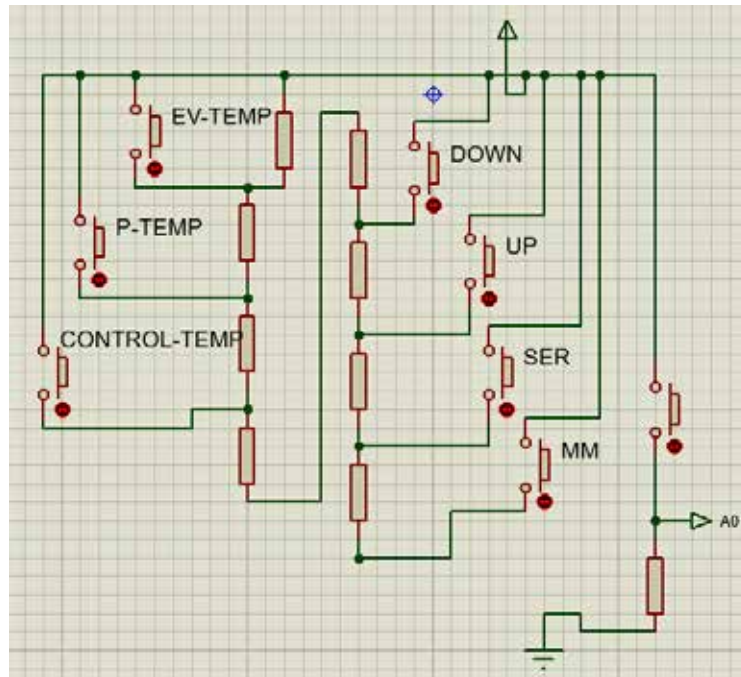


Figura 55. Arreglo entre Resistencias y el Panel Frontal

Fuente: López, Miguel (2019)

Donde todas las resistencias que se muestran son iguales entre sí, más específicamente de 1k, este arreglo lo que nos permite es asignarle a cada botón un diferente valor de tensión el cual ira a través de un solo pin de entrada el #A0 del Arduino, simplificando el número posible de entradas digitales que se hubieran tenido que usar, en la Tabla 9, se nos muestra que botón representa cada número respecto a la Figura 52, el arreglo posee una resistencia final antes de la lectura por parte del Arduino esto se hace con el fin de que el ultimo suiche al ser presionando no comprometa el pin de entrada al mandar una señal sin ningún tipo de restricción.

Tabla 9. Asignación de Terminales del Panel Frontal

Terminal	Botón
1	Temperatura Ambiente
2	Temperatura del Paciente
3	Control de Temperatura
4	(-) Disminuir Temperatura
5	(+) Aumentar Temperatura
6	Modo Servo Controlado
7	Modo Manual
8	Silenciar Alarma

Fuente: López, Miguel (2019)

El panel frontal además posee una serie de leds, ver Figura 56, los cuales tienen como función indicar funciones como: lo que se está visualizando en la pantalla LCD de las 3 opciones posibles, que modo de trabajo está en ejecución y si hay algún error o falla en el sistema.

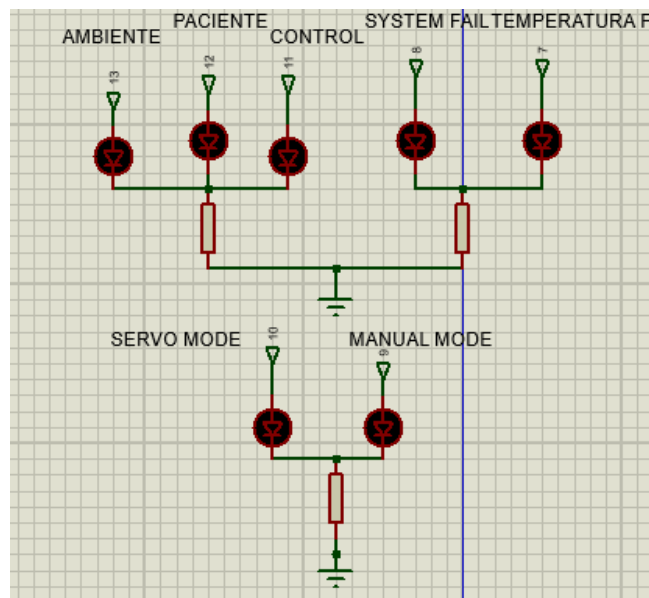


Figura 56. Arreglo entre Resistencias y el Panel Frontal

Fuente: López, Miguel (2019)

Se puede observar que para cada led indicador fue necesario un pin de salida digital del Arduino, también es necesario aplicar una resistencia antes de cerrar el circuito debido a que los leds en su mayoría a trabajar a menos de +3V DC, y recibir una señal de +5V DC por parte del Arduino podría llegar a quemarlos, en la tabla 10 se puede ver que pin pertenece a cada salida del Arduino.

Tabla 10. Asignación de Terminales de LEDs Indicadores

Pin	LED
7	Fallo de Temperatura
8	Fallo en el Sistema
9	Modo Manual
10	Modo Servo Controlado
11	Control de Temperatura
12	Temperatura del Paciente
13	Temperatura del Ambiente

Fuente: López, Miguel (2019)

5.3.4.5 Elemento Audible de Alarma

El sistema posee un speaker o altavoz el cual tiene como función emitir un sonido lo suficientemente alto para ser percibido por el personal del área al momento de alguna falla que detecte el Arduino, la conexión se muestra en la Figura 57.

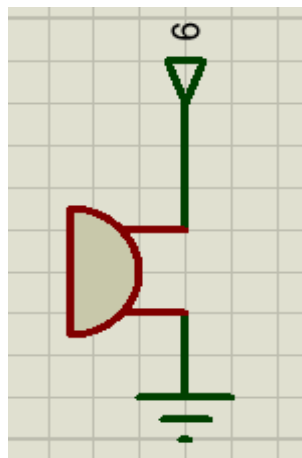


Figura 57. Conexión del Altavoz

Fuente: López, Miguel (2019)

El altavoz es activado por una señal digital de +5V DC, el cual proviene del Arduino por parte del pin #6, cerrando circuito con la tierra del sistema.

5.3.4.6 Conexión Pantalla LCD por Protocolo I2C

Anteriormente se había explicado con detalles las características técnicas tanto de la LCD con el módulo I2C más específicamente en la sección 5.2.4 y 5.2.4.1, ahora como se puede ver en la Figura 58, tenemos que el modulo al estar integrado en la pantalla LCD, tenemos que los únicos pines necesarios para hacerla funcionar son el #A4 y #A5, respectivamente con la fuente Vcc y su conexión a tierra, simplificando en gran medida los pines requeridos para su operatividad.

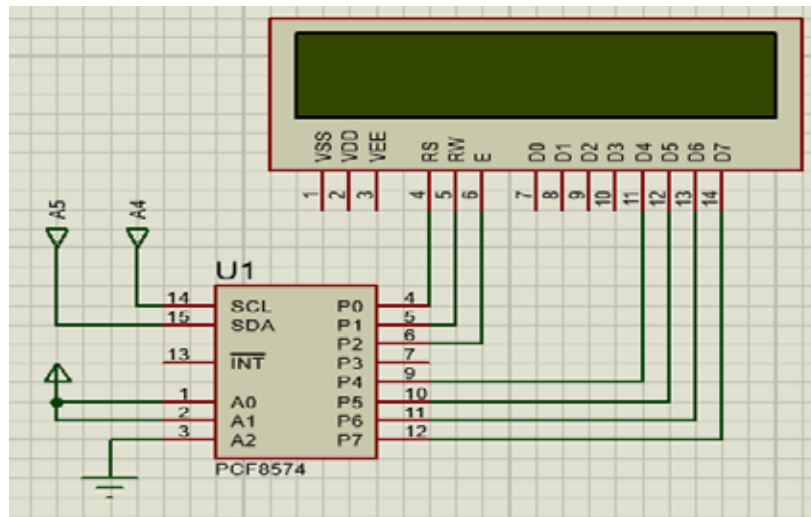


Figura 58. Conexión del Altavoz
Fuente: López, Miguel (2019)

5.3.4.7 Modelamiento del Proceso o Planta

Para obtener la función de transferencia del sistema fue necesario aplicar una señal de entrada tipo rampa con el fin de conseguir la respuesta del estado estable, para esto se aplicó el voltaje nominal de alimentación directo a la resistencia eléctrica, un multímetro con un módulo de medición de °C se medirá durante aproximadamente 20 minutos, el proceso a seguir se muestra en la Figura 59.

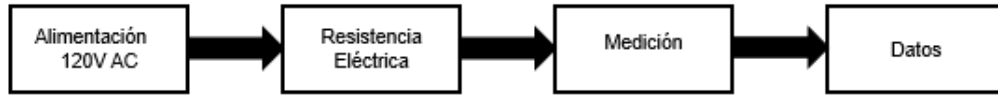


Figura 59. Obtención de los Datos

Fuente: López, Miguel (2020)

La Figura 60, muestra el resultado de la gráfica a los valores obtenidos donde se puede ver que la señal tiende a ser lineal en el pasar de 18 minutos, con un máximo en el incremento de la temperatura de 33, se debe tener en cuenta que las mediciones se hicieron a partir de la temperatura ambiente la cual era de unos 25°C.

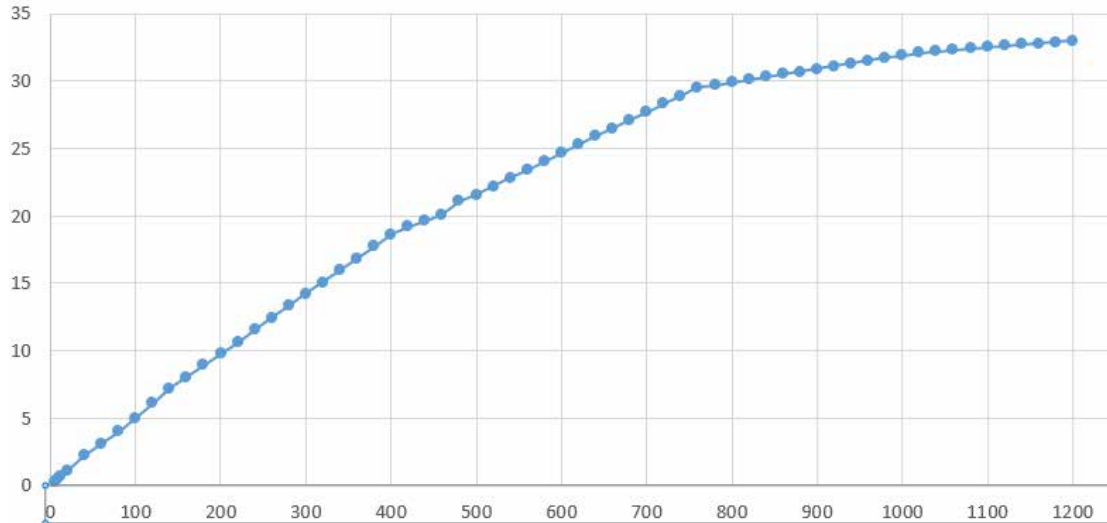


Figura 60. Obtención de los Datos

Fuente: López, Miguel (2020)

Para el modelado de la función de transferencia de la planta, se utilizó la herramienta MATLAB versión R2015b, ver Figura 61, el cual nos determina el punto de inflexión de la gráfica como la tangente para la obtención de los valores necesarios para aplicar el método 1 de Ziegler-Nichols.

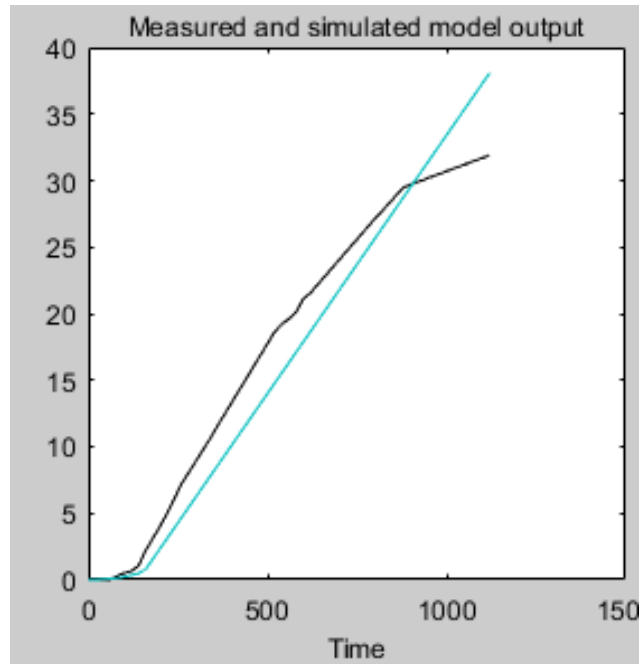


Figura 61. Punto de inflexión de la grafica

Fuente: López, Miguel (2020)

Los valores proporcionados por el programa fueron:

$$L = 60.547$$

$$T = 903.681$$

$$\text{Función del Proceso } Gp = \frac{32.33e^{-60.547s}}{903.681s+1}$$

Utilizando los parámetros propuestos por Ziegler-Nichols para la obtención de las constantes del controlador PID nos queda de la forma:

$$Kp = \frac{1.2}{L} \quad Ti = 2 L \quad Td = 0.5 L$$

Obtenemos los parámetros remplazando los valores obtenidos quedando:

$$Kp = 17.9033 \quad Ti = 121.094 \quad Td = 30.2735$$

Función del controlador PID

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

En la tabla 11 se observa la tabla de Ziegler-Nichols con sus valores calculados

Tabla 11. Tabla de Ziegler-Nichols

	K_p	T_i	T_d
P	14.9252		0
PI	13.4327	201.8233	0
PID	17.9033	121.094	30.2735

Fuente: López, Miguel (2020)

Tenemos que las constantes K_p , K_d y K_i se obtienen del siguiente calculo:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0.1478 \qquad K_d = K_p T_d = 541.9955$$

5.3.5 Diseño del Sistema de Control

Una vez modelado y encontrado todos los parámetros necesarios del controlador, se realiza la implementación del código que se ingresara en la tarjeta Arduino, la librería PID_v1.h (), facilitara el uso del controlador para la ejecución del PID. En la Figura 62 se muestra el procedimiento principal del sistema de control, el cual se observa las condiciones de operación y las 2 posibles opciones para el modo de trabajo, en cual opción la verificación de falla en el sistema será constantemente repetida.

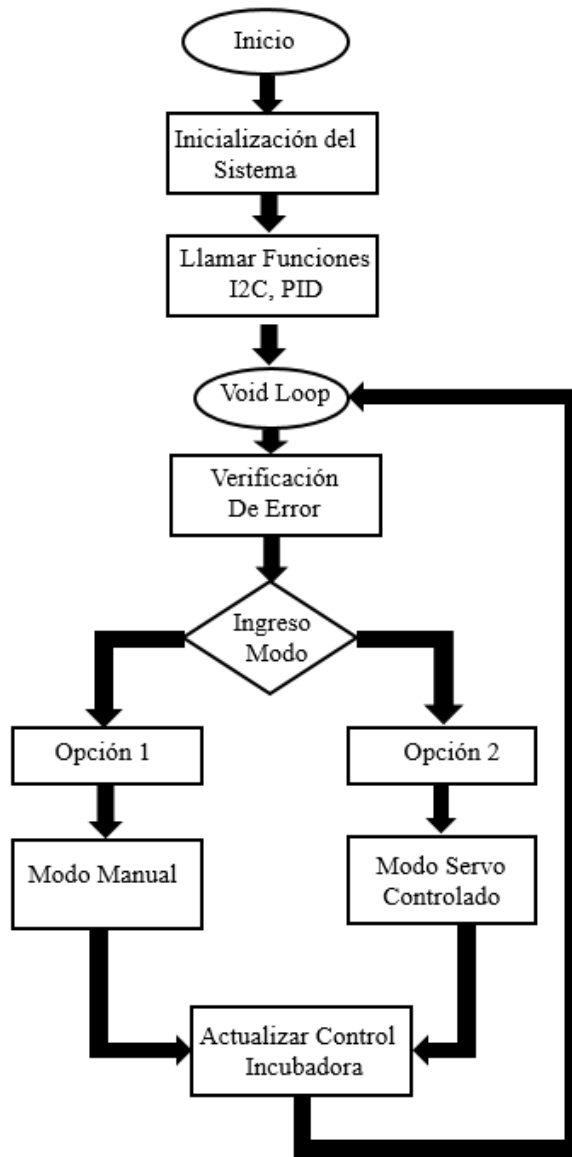


Figura 62. Diagrama de Flujo General

Fuente: López, Miguel (2020)

En la Figura 63 se muestra el diagrama de flujo del modo manual, este modo actúa directamente al encenderse el equipo, su funcionamiento se basa en llegar a una temperatura default ingresada al sistema de 32°C si previamente no se ha ingresado otro setpoint, el sistema tomara como referencia los 2 sensores de ambiente NTC10K.

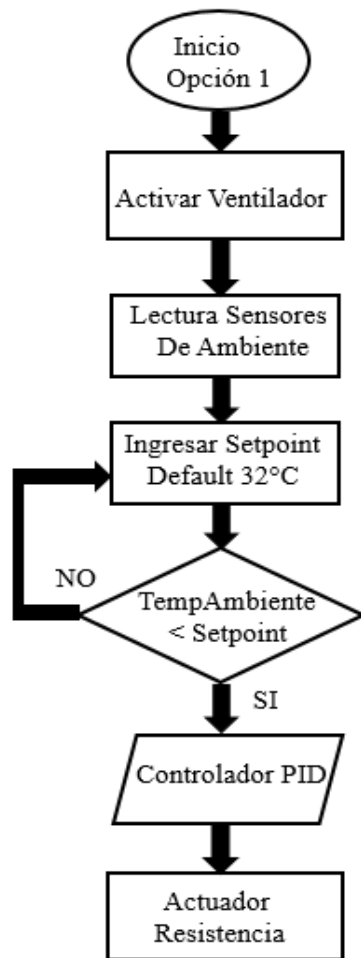


Figura 63. Diagrama de Flujo del Modo Manual
 Fuente: López, Miguel (2020)

El siguiente diagrama representa el modo servo controlado y se le puede apreciar en la Figura 64, su funcionamiento se basa en tomar como referencia la lectura del sensor de piel, con este valor el sistema establecerá la temperatura del ambiente en base a la lectura realizada, el funcionamiento es casi con exactitud igual al modo manual, con la única diferencia de leer la temperatura por medio del sensor corporal, siendo ambos Termistores NTC10k.

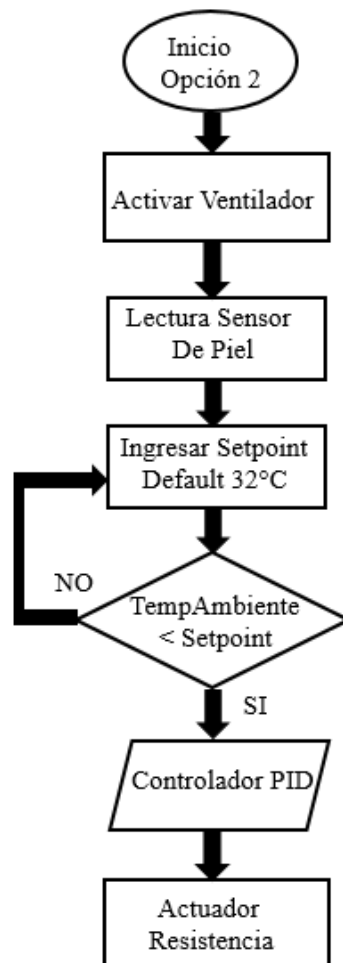


Figura 64. Diagrama de Flujo del Modo Servo Controlado
 Fuente: López, Miguel (2020)

En la Figura 65 se aprecia el diagrama de flujo para la detección de un error en el sistema, ya sea por falla de temperatura o alguna falla relacionada con los sensores, esto puede darse por una lectura sobre los 38°C por parte de cualquiera de los 3 sensores, o fallo en sistema debido al malfuncionamiento o desconexión de alguno de los terminales del sensor a la placa Arduino.

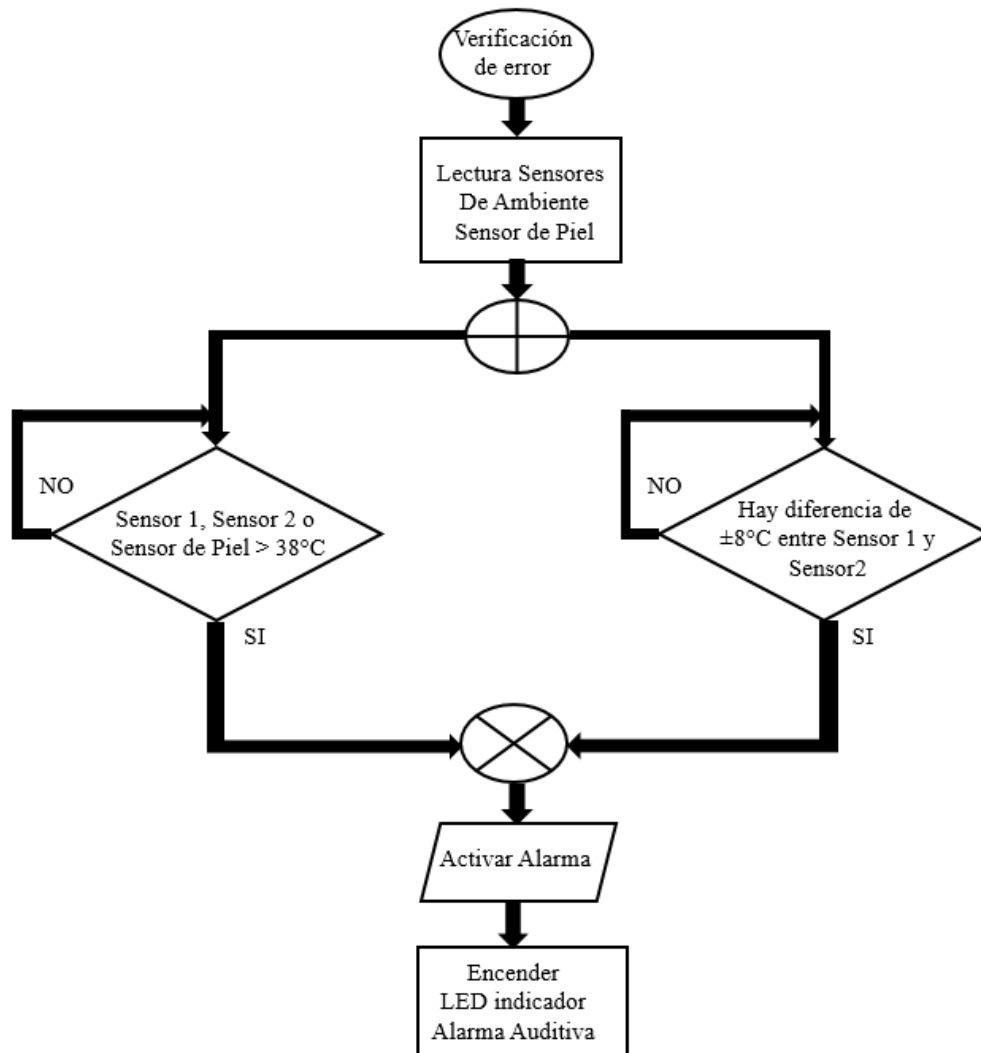


Figura 65. Diagrama de Flujo para la Detección de Fallas

Fuente: López, Miguel (2020)

5.3.5 Diseño del PCB

Para el diseño de los circuitos electrónicos se utilizó la herramienta proporcionada por el software PROTEUS DESIGN SUITE versión 8.9, se tomó en cuenta la disposición de los elementos para que no tuvieran contacto entre sí como se observa en la Figura 66.

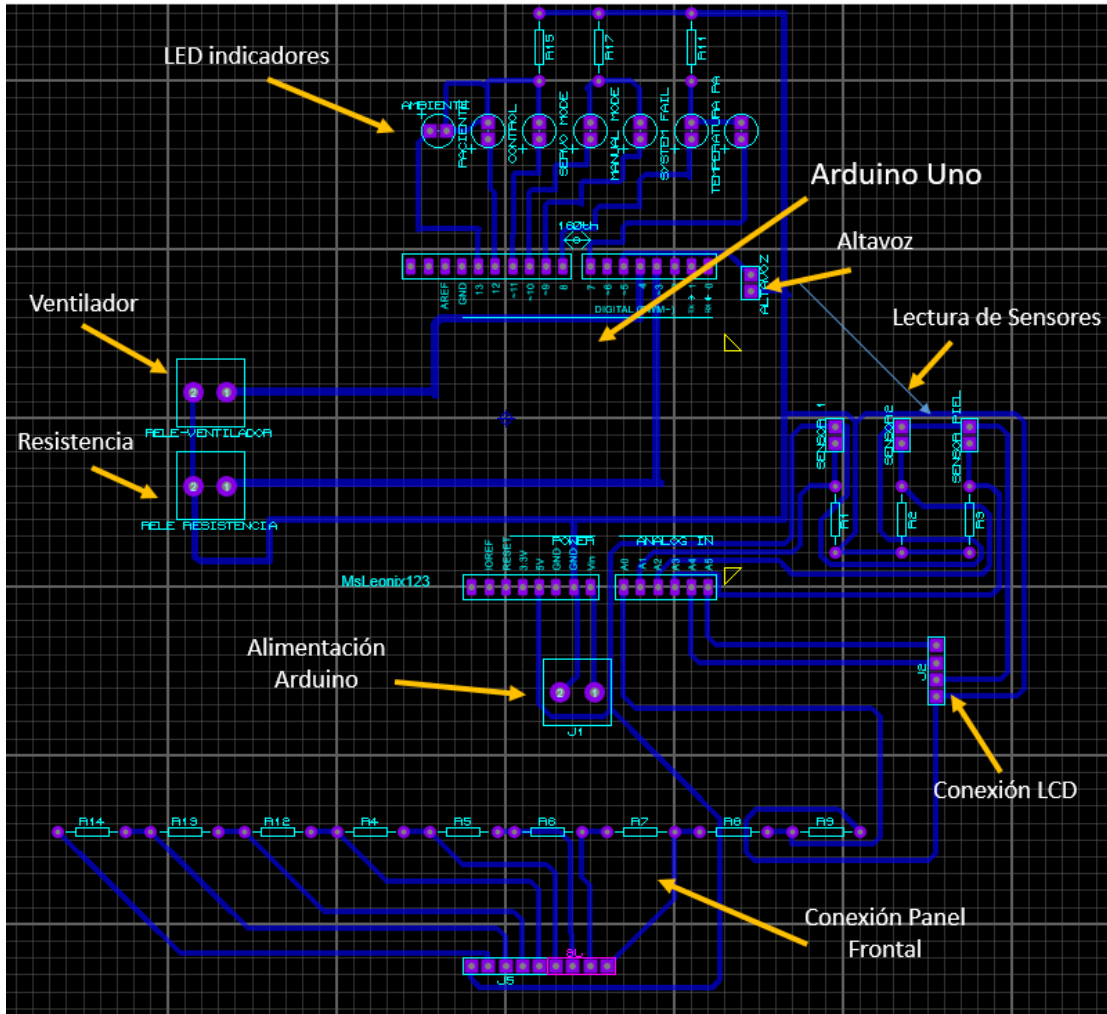


Figura 67. Diagrama del Diseño de la PCB Detallado

Fuente: López, Miguel (2020)

En la Figura 68 y 69, observaremos un modelado en 3D de la distribución de los componentes y la guía de las que obtendrá la tarjeta, esto se realizó bajo el programa PROTEUS.

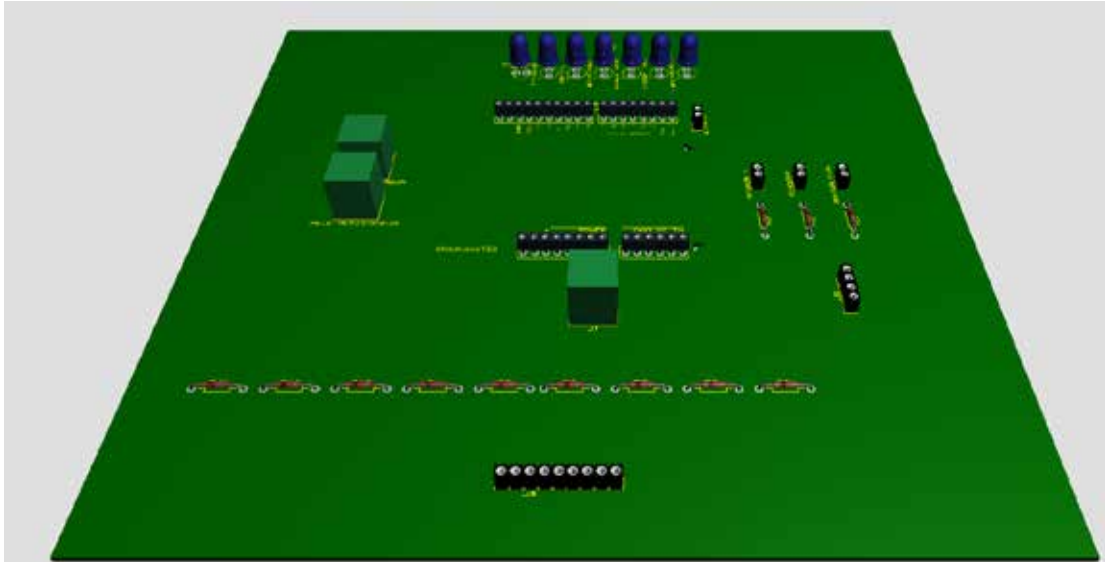


Figura 68. Modelado 3D Parte Superior
Fuente: López, Miguel (2020)

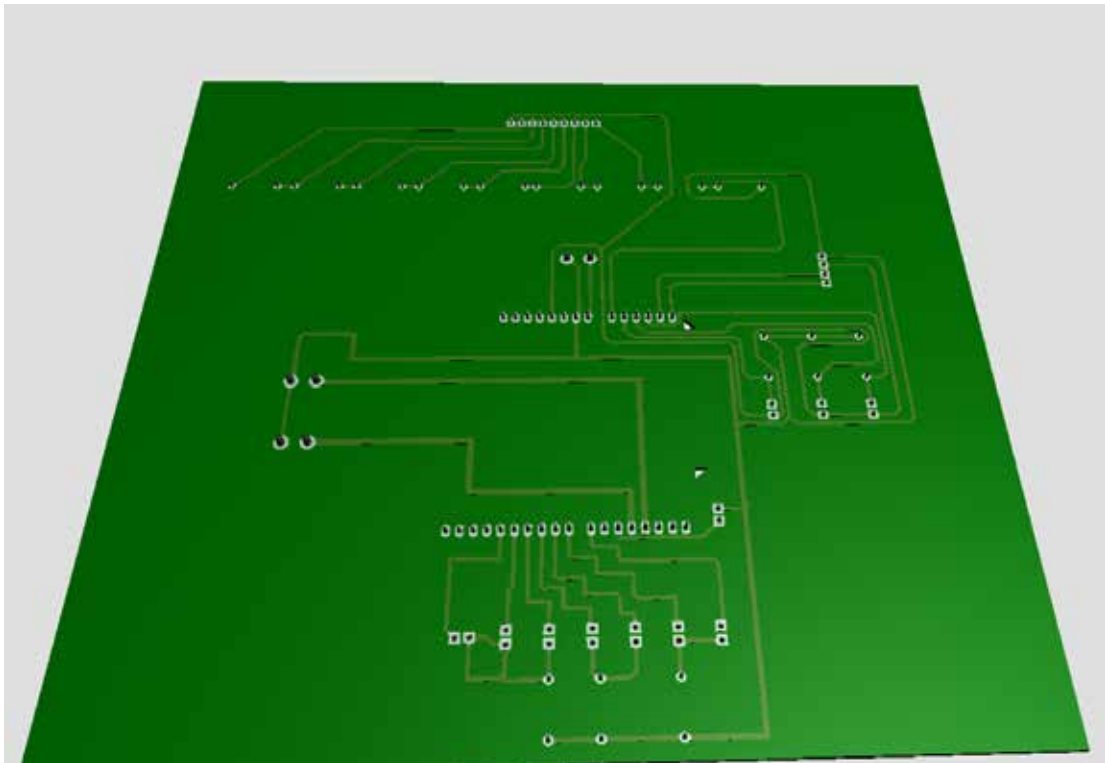


Figura 69. Modelado 3D Parte Posterior
Fuente: López, Miguel (2020)

5.4 FASE IV. Determinación de la factibilidad técnica, económica, ambiental y social de la propuesta.

5.4.1 Factibilidad Técnica

Se entiende por factibilidad técnica la existencia o el alcance de la tecnología necesaria para el desarrollo y creación del sistema, se presentan las características que permitieron seleccionar el software y hardware a utilizar para el diseño del sistema de control de la incubadora neonatal.

Para la selección del hardware necesario se tomaron en cuenta las variables de adquisición y control del proceso, así como los equipos actuales presentes en la incubadora neonatal, entre la selección del microcontrolador Arduino se determinó dentro de su amplia variedad de controladores el “Arduino Uno” como la opción más factible, esto debido a que suplía la necesidad de control necesaria para el sistema, además de su fácil operatividad lo cual facilita a la instalación y la programación. Para la visualización de la información a proporcionar al operador se utilizó una pantalla LCD 16x2 conectada por módulo I2C el cual simplifica su conexión con el Arduino, esta pantalla se encuentra con facilidad en el mercado siendo de fácil acceso.

En el mercado, existen una diversidad de softwares para el desarrollo de un sistema de control cada uno con sus ventajas y desventajas, como el caso del programa de Arduino IDE el cual es el entorno donde se desarrolló el programa el cual controla al Arduino basada en el lenguaje de programación C.

Para el desarrollo de la placa de circuito impreso se utilizó el software Proteus el cual consta del programa ISIS que nos permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar, como también ARES el cual es la herramienta para la fabricación de la placa de circuito impreso.

Se determina que existe la tecnología necesaria para el desarrollo de lo necesitado, así como para mejorar el mismo, corroborando que es un proyecto factible.

5.4.2 Factibilidad Económica

Para determinar si el proyecto es conveniente se realiza un cálculo económico, el costo de elaboración de la incubadora neonatal es considerablemente más bajo que la adquisición de una incubadora de segunda mano la cual puede llegar a tener un costo aproximado de \$1500 dólares, en la Tabla 12 se muestra los precios de la elaboración del desarrollo en su totalidad.

Tabla 12. Costos de Fabricación del sistema de control

CANTIDAD	ESPECIFICACION	COSTO
1	Base metálica de la incubadora	\$ 0,00
1	Cubierta Acrílica de la incubadora	\$ 0,00
1	Estante Metálico para el soporte de la incubadora	\$ 100,00
1	Panel visualizador de control	\$ 0,00
1	Resistencia Eléctrica	\$ 0,00
1	Ventilador Centrifugo	\$ 0,00
3	Sensores NTC10K	\$ 0,00
1	Relé de Estado Solido	\$ 0,00
1	Fabricación de la PCB	\$ 30,00
1	Fuente de Alimentación	\$ 15,00
1	Arduino Uno	\$ 15,00
1	LCD 16x2 con módulo I2C	\$ 8,00
1	Programación	\$ 50,00
1	Diseño de la PCB	\$ 45,00
1	Mano de obra	\$ 100,0
TOTAL		\$ 363

Fuente: López, Miguel (2020)

En la tabla se observa algunos elementos los cuales tienen un valor monetario de \$ 0,00 dólares, esto representa que dicho elemento ya se encontraba disponible para su utilización dentro de la incubadora neonatal OHIO IC.

5.4.3 Factibilidad Ambiental y Social

La propuesta de la incubadora neonatal solo se puede probar con dispositivos de medición ya que está en modo de prueba, el equipo en si no se ha probado con infantes por ser un dispositivo que alberga la temperatura y esto podría afectar al neonato sin antes tener varias horas de prueba y los permisos necesarios.

Es por ello, que para llegar a una completa seguridad de operatividad de la incubadora y su implementación en alguna institución del cuidado médico como clínicas y hospitales, es necesario someter la propuesta desarrollada una serie rigurosas de pruebas para estar seguros, que la estabilidad del sistema en ningún momento es puesta en riesgo perjudicando la salud del neonato.

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La propuesta del diseño de control de la incubadora neonatal se realizó gracias a la información obtenida del manual de operador, la cual brindo toda la información necesaria, permitiendo la construcción de un sistema con las mismas características a la original.

Se realizó la incorporación de librerías en el software de Arduino IDE, como lo son la librería para el controlador PID y la librería para el módulo I2C, estas librerías proporcionadas por los fabricantes permiten desarrollar un código el cual cumpla las características necesarias para el buen funcionamiento de la incubadora.

Se recolecto toda la información subyacente a los Termistores NTC10K, los cuales representan el funcionamiento de todos los sensores de temperatura dentro de la incubadora neonatal, los datos recolectados durante periodos de tiempo arrojaron como resultado un error aproximado del 1% demostrando un correcto funcionamiento.

Se diseñó la protección para temperaturas excesivas, donde el programa al detectar temperaturas mayores a los 38°C dentro de la capsula, interrumpe la alimentación eléctrica de la resistencia eléctrica y mostrando por la consola un indicador visual y audible, demostrando un buen funcionamiento en la seguridad del neonato.

Se implementó un control de temperatura PID a través del método de Ziegler-Nichols, el cual controla la corriente suministrada a la resistencia eléctrica regulando así la temperatura dentro de la capsula de la incubadora neonatal.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda probar la propuesta descrita anteriormente para probar la completa operatividad del sistema, esto con el fin de evitar cualquier altercado con una posible inestabilidad o mal funcionamiento, esto se realiza probando por periodos prolongados de tiempo todo el sistema.

Además, se puede implementar una interfaz HMI con conexión a internet, ya que hasta el momento solo sirve para monitorear al neonato de forma presencial, que el HMI también pueda controlar y recibir alarmas que sean producidas por la incubadora todo de manera inalámbrica.

Es recomendable que la tierra de alimentación de la fuente esté conectada a la base metálica de la incubadora, además del lugar donde se vaya a implementar tenga puesta a tierra en la toma eléctrica con el fin de proteger el equipo y el usuario.

REFERENCIAS

Bibliográficas

- Sabino, C. (1996). **Introducción a la Metodología de Investigación**. Caracas: Editorial: Panapo.
- Arias, F. (1999). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. 3ra Edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Doubs de Moya, R. (2002). **El Proyecto Factible: una modalidad de investigación**. Caracas, Venezuela.
- Hurtado, J. (2007). **El proyecto de investigación**. Caracas: Editorial Quirón.
- Palella, S. y Martins, F. (2010). **Metodología de la investigación cuantitativa**. Caracas: Editorial Fedupel.
- Ogata, K. (2010). **Ingeniería De Control Moderna K. Ogata**. 5ta edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Pearson.
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica**. Caracas: Editorial Episteme.

Electrónicas

- Arduino (2019). **Arduino Uno**. Recuperado en:
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Arduino (2019). **Arduino Mega**. Recuperado en:
<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- Infootec (2019). **El relé de estado sólido**. Recuperado en:
<https://www.infootec.net/rele-estado-solido/>
- EcuRed (2012), **Ventiladores Centrífugos**. Recuperado en:
https://www.ecured.cu/Ventiladores_centric%C3%ADfugos
- Une (2018), **UNE-EN 60601-2-19**. Recuperado en:
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044561>

Control Automático (2020), **Ziegler Nichols – Sintonia de Control PID**. Recuperado en:

<https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/ziegler-nichols-sintonia-de-control-pid/>

GeekFactory (2018), **LCD 16×2 por I2C con Arduino usando solo dos pines**.

Recuperado en:

<https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/lcd-16x2-por-i2c-con-arduino/>

Termokew (2015), **Resistencias de calentamiento**. Recuperado en:

<http://www.termokew.mx/resistencias-calentamiento.php>

```

#include <math.h>
#include <PID_v1.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f,16,2);
//-----
double Setpoint, Input, Output;
// Asignaciones pins

const int PIN_OUTPUT = 3; // pin salida del PWM controla Resistencia

double Kp=17.9033, Ki=0.1478, Kd=541.995;
PID pidController(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

//-----Promedio Variables a usar-----

// Constantes del promedio

const int numReadings = 14;
int index          = 0; // El indice de la lectura actual
float readings[numReadings]; // Lecturas de la entrada analogica
float total        = 0.0; // Total
float average      = 0.0; // Promedio
float sumat=0.0; //suma total sensor 1 y 2
float sumato=0.0; // media de las dos sumas
//-----

double consola;
int EV=1, PTMPF=0, Control=0; //mostrar en pantalla
int ServM=0, Mmode=1; // modode operacion
// Lectura sensores NTC -----
int Vo, Vv2, Vv3;
float R1 = 10000;
// resistencia fija del divisor de tension
float logR2, logR3,logR4, R2, R3,R4, Sensor1, Sensor2, Sensor3; // sensor1,sensor2,sensor3temperatura leida
float c1 = 2.108508173e-03, c2 = 0.7979204727e-04, c3 = 6.535076315e-07; //coeficiente de los sensores NTC 10K

// coeficientes de S-H en pagina:
// -----
//----- Declaracion de Variables para los leds indicadores-----
const int ledA = 13; // PIN de temperatura ambiente
const int ledP = 12; // PIN de temperatura de paciente
const int ledC = 11; // PIN de control de temperatura
const int ledSVM = 10; // Led indicador modo servo controlado
const int ledMM = 9; // led indicador modo manual
const int ledSTP = 8; // led de falla en el sistema
const int ledPT = 7; // led de sobre temperatura en la piel
const int buzzer = 6; // buzzer de alerta
const int ventilador=4; // Activacion del ventilador

```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);    // inicializa comunicacion serie a 9600 bps

  //----- Promedio-----

  for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)
    readings[thisReading] = 0; // cilo del promedio
  // ----- PID

  Setpoint = 32; // Setpoint establecido al iniciar

  pidController.SetOutputLimits(0, 255);
  pidController.SetMode(AUTOMATIC);    // encender el PID

  //-----Limpiar la pantalla LCD-----
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  //-----

  pinMode(ledA, OUTPUT); //PIN como salida digital
  pinMode(ledP, OUTPUT);
  pinMode(ledC, OUTPUT);
  pinMode(ledSVM, OUTPUT);
  pinMode(ledMM, OUTPUT);
  pinMode(ledSTF, OUTPUT);
  pinMode(ledPT, OUTPUT);
  digitalWrite(ledA, HIGH);
  digitalWrite(ledMM, HIGH);
  digitalWrite(ventilador, HIGH); //Encender Ventilador
  //-----

```

```

lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print("Temperatura Ambi");
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print("      ");
  lcd.print(average,1); //mandamos a imprimir el promedio del habitaculo con 1 decimal
  lcd.print("°C");

}

void loop() {
  // Lectura de sensores -----
  Vo = analogRead(A1); // lectura de A1
  R2 = R1 * (1023.0 / (float)Vo - 1.0); // conversion de tension a resistencia
  logR2 = log(R2); // logaritmo de R2 necesario para ecuacion
  Sensor1 = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2)); // ecuacion S-H
  Sensor1 = Sensor1 - 273.15; // Kelvin a Centigrados (Celsius)

  Vo2 = analogRead(A2); // lectura de ppin analogico A2
  R3 = R1 * (1023.0 / (float)Vo2 - 1.0);
  logR3 = log(R3);
  Sensor2 = (1.0 / (c1 + c2*logR3 + c3*logR3*logR3*logR3));
  Sensor2 = Sensor2 - 273.15;

  Vo3 = analogRead(A3); // lectura de ppin analogico A2
  R4 = R1 * (1023.0 / (float)Vo3 - 1.0);
  logR4 = log(R4);
  Sensor3 = (1.0 / (c1 + c2*logR4 + c3*logR4*logR4*logR4));
  Sensor3 = Sensor3 - 273.15;
  // -----

```

```

//-----mostrar en pantalla-----
consola = analogRead(A0); //lectura del panel frontal

if ((consola>= 109) && (consola <= 119)){
  EV=1;
  PTEMP=0;
  Control=0;
  digitalWrite(ledA, HIGH);
  digitalWrite(ledP, LOW);
  digitalWrite(ledC, LOW);
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print("Temperatura Ambi");
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print("      ");
  lcd.print(average,1);
  lcd.print("°C");

  } else if ((consola>= 123) && (consola <= 132)){
  EV=0;
  PTEMP=1;
  Control=0;
  digitalWrite(ledA, LOW);
  digitalWrite(ledP, HIGH);
  digitalWrite(ledC, LOW);
  lcd.print("Temperatura Piel");
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print("      ");
  lcd.print(Sensor3,1); //mandamos a mostrar sensor de piel Sensor3

```

```

lcd.print("°C");
  } else if ((consola >= 141) && (consola <= 151)){
    EV=0;
    PTEMP=0;
    Control=1;
    digitalWrite(ledA, LOW);
    digitalWrite(ledP, LOW);
    digitalWrite(ledC, HIGH);
    lcd.print("  Set Point");
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print("      ");
  lcd.print(Setpoint,1);
lcd.print("°C");
  } else {
    EV=EV;
    PTEMP=PTEMP;
    Control=Control;
  }

//----- Modo de trabajo-----
if ((consola >= 330) && (consola <= 350)){
  ServM =1;
  Mmode =0;
  digitalWrite(ledSVM, HIGH);
  digitalWrite(ledMM, LOW);
}
else if ((consola >= 500) && (consola <= 520)){
  ServM =0;
  Mmode =1;
  digitalWrite(ledSVM, LOW);
}

```

```

//----- Modo de trabajo-----
if ((consola>= 330) && (consola <= 350)){
    ServM =1;
    Mmode =0;
    digitalWrite(ledSVM, HIGH);
    digitalWrite(ledMM, LOW);
}
else if ((consola>= 500) && (consola <= 520)){
    ServM =0;
    Mmode =1;
    digitalWrite(ledSVM, LOW);
    digitalWrite(ledMM, HIGH);
}
else {
    ServM ==ServM;
    Mmode == Mmode;
}
if (ServM == 1){
    Input = Sensor3;
}
else if (Mmode ==1){
    Input = average;
}

```

```

//-----Alarma y fallo del sistema-----

if ((Sensor1 >= 40) || (Sensor2 >= 40) || (Sensor3 >=40) ){
    digitalWrite(ledPT, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
}
else {
    digitalWrite(ledPT, LOW);

}

if ((Sensor1 >= (Sensor2 + 8.0)) || (Sensor2 >= (Sensor1 + 8.0))){
    digitalWrite(ledSTF, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
}
else if((Sensor1 <= (Sensor2 - 8.0)) || (Sensor2 <= (Sensor1 - 8.0))){
    digitalWrite(ledSTF, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
}
else{
    digitalWrite(ledSTF, LOW);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
}
}

```

```

//-----Ajuste del Setpoint-----
  if (Control ==1){
    if ((consola>=251) && (consola <=261) && (Setpoint < 38)){
      Setpoint= Setpoint + 1.0;

    } else if ((consola>=200) && (consola <=210) && (Setpoint >32 )){
      Setpoint= Setpoint - 1.0;      }
    }

//-----

pidController.SetTunings(Kp, Ki, Kd);

pidController.Compute();          // actualizar el PID
analogWrite(PIN_OUTPUT, Output); //salida PWM

//-----Promedio sensores de ambiente-----
sumat= Sensor1 + Sensor2;
sumato= sumat/2;

// Restamos la ultima lectura:
total = total - readings[index];
// Leemos del sensor:
readings[index] = sumato;
// Añadimos la lectura al total:
total = total + readings[index];
// Avanzamos a la proxima posicion del array
index = index + 1;
// Si estamos en el final del array...
if (index >= numReadings)
  index = 0; // ...volvemos al inicio:

// Calculamos el promedio:
average = total / numReadings;
// Lo mandamos a la PC como un valor ASCII
Serial.print(" Average = ");
Serial.println(average);

```

```

//----- Variables de control mostradas por comunicacion serial-----
    Serial.print(EV);
    Serial.print(" "); // imprime valor en monitor serie
    Serial.print(PTMP);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(Control);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(Setpoint, 1);
    Serial.print(" ");
    Serial.print (Input);
    Serial.print(" ----- ");
    Serial.print(Sensor1,1);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(Sensor2);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(Sensor3);
    Serial.print(" ----- ");
    Serial.print(ServM);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(Mmode);
    Serial.println("");
        Serial.print(" ");
    Serial.print(sumato);
    Serial.println("");

    delay(100); // demora de 100mS segundo entre lecturas
}

```