



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Implementación de un sistema de control y automatización
de un autoclave esterilizador analógico.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

JUAN JOSÉ ÁVILA SAN MARTIN

DANNY JAVIER PAREDES BANEGAS

Director:

ING. HUGO MARCELO TORRES SALAMEA, PH.D.

CUENCA, ECUADOR

2023

I. DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, a mi hermano y a mi familia, quienes han tenido un papel fundamental en la formación de la persona que soy ahora, por el apoyo incondicional y el cariño que me han brindado a lo largo de mi vida.

Juan José Ávila

Este proyecto va dedicado especialmente a mis padres y hermana que siempre estuvieron a mi lado, brindándome su amor incondicional y alentándome a perseguir mis sueños. Su constante apoyo moral y emocional fue fundamental para superar los desafíos y obstáculos que encontré durante la realización del mismo.

Danny Paredes

II. AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, quienes han brindado el respaldo financiero necesario para llevar a cabo este proceso académico. Además, deseo agradecer al Ingeniero Hugo Torres por su guía y apoyo como maestro y tutor en la realización de este trabajo.

Juan José Ávila

Agradezco a mis padres, quienes siempre me apoyaron incondicionalmente. Además, agradezco al Ingeniero Hugo Torres quien fue parte fundamental para el éxito de este proyecto y también como maestro tutor a lo largo del proceso académico.

Danny Paredes

III. ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. Dedicatoria	i
II. Agradecimiento	ii
III. Índice de Contenidos	iii
IV. Índice de Figuras	iv
V. Índice de Tablas	v
VI. Resumen	vi
VII. Abstract	vi
I. Introducción	1
II. Implementación del sistema de control.	2
A. Descripción del autoclave analógico.	2
1) Variables y parámetros de funcionamiento.....	2
2) Elementos físicos del autoclave.	3
B. Implementación y análisis de la función de transferencia.	3
C. Métodos para encontrar los parámetros de controlador.	5
D. Implementación del controlador PID.	6
E. Fase de potencia.....	7
F. Interfaz en la pantalla táctil.	7
G. Implementación general de la planta.....	8
III. Resultados	9
A. Prueba del funcionamiento del controlador PI.	9
B. Análisis del comportamiento del sistema de potencia.....	10
C. Análisis del comportamiento de la válvula.	10
D. Resultado del comportamiento del autoclave.....	11
1) Método manual	11
2) Método automático	11
E. Resultado de las pruebas químicas.	12
1) Prueba química en tela	12
2) Prueba química en pinzas metálicas.	12
IV. Conclusiones	12
V. Referencias	12

IV. ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1. AUTOCLAVE ESTERILIZADOR.....	2
FIG. 2. ESQUEMA FÍSICO DEL AUTOCLAVE SIN PUERTA.....	3
FIG. 3. MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN EL AUTOCLAVE.....	3
FIG. 4. CURVA DE LA TEMPERATURA.....	4
FIG. 5. CURVA DE LA TEMPERATURA CON EL OFFSET.....	4
FIG. 6. MODELADO DE LA PLANTA.....	4
FIG. 7. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN MATLAB.....	5
FIG. 8. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN SIMULINK.....	5
FIG. 9. ESTABILIDAD DEL SISTEMA CON K _D	5
FIG. 10. ESTABILIDAD DEL SISTEMA SIN K _D	5
FIG. 11. CURVA EN FORMA DE “S” [26].....	6
FIG. 12. CURVA DE RESPUESTA A PARÁMETROS DE ZN.....	6
FIG. 13. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ESP32 [28].....	6
FIG. 14. DIAGRAMA DE FLUJO.....	7
FIG. 15. CIRCUITO CRUCE POR CERO.....	7
FIG. 16. CIRCUITO DE DISPARO DEL TRIAC.....	7
FIG. 17. CIRCUITO DEL CONTROL DE LA VALVULA.....	7
FIG. 18. PANTALLA PRINCIPAL.....	7
FIG. 19. PANTALLA MÉTODO MANUAL.....	7
FIG. 20. PANTALLA DE VISUALIZACIÓN DE DATOS.....	8
FIG. 21. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PANTALLA.....	8
FIG. 22. HUELLAS PARA PCB.....	8
FIG. 23. PLACA PCB.....	8
FIG. 24. ELECTROVÁLVULA IMPLEMENTADA.....	8
FIG. 25. TERMOCUPLA TIPO K IMPLEMENTADA.....	9
FIG. 26. SOFTWARE Y HARDWARE.....	9
FIG. 27. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL.....	9
FIG. 28. CURVA DE ESTABILIDAD CON PARÁMETROS DEL MÉTODO “PIDTOOL”.....	10
FIG. 29. CURVA DE ESTABILIDAD CON PARÁMETROS DEL MÉTODO “AUTOTUNNING”.....	10
FIG. 30. CURVA DE ESTABILIDAD CON PARÁMETROS DEL MÉTODO “ZIEGLER-NICHOLS”.....	10
FIG. 31. DECREMENTO DE CORRIENTE CUANDO LLEGA A LOS 121°C.....	10
FIG. 32. AUMENTO DE CORRIENTE CUANDO LLEGA A LOS 120°C.....	10
FIG. 33. LLENADO DE LA CÁMARA DE ESTERILIZACIÓN.....	11
FIG. 34. INGRESO DE 3 MINUTOS POR TECLADO.....	11
FIG. 35. CURVA DE RESPUESTA DE LA CORRIENTE EN EL TIEMPO ESTABLECIDO.....	11
FIG. 36. CURVA DE RESPUESTA DE LA TEMPERATURA DEL MÉTODO MANUAL.....	11
FIG. 37. CURVA DE RESPUESTA DE LA TEMPERATURA DEL MÉTODO AUTOMÁTICO.....	12
FIG. 38. PRUEBA QUÍMICA EN UNA FRANELA.....	12
FIG. 39. PRUEBA QUÍMICA EN UNAS PINZA METÁLICAS.....	12

V. INDICE DE TABLAS

TABLA I. RELACIÓN PRESIÓN/TEMPERATURA	3
TABLA II. DATOS OBTENIDOS POR EL SENSOR TERMOCUPLA TIPO K.....	3
TABLA III. PARÁMETROS DEL CONTROLADOR (PIDTOOL).	5
TABLA IV. PARÁMETROS DEL CONTROLADOR (AUTOTUNING).....	5
TABLA V. PARÁMETROS DEL CONTROLADOR (AUTOTUNING MODIFICADO).	5
TABLA VI. REGLA DE SINTONÍA DE (ZN) DEL PRIMER MÉTODO [26].....	6
TABLA VII. PARÁMETROS DEL CONTROLADOR (ZN).....	6
TABLA VIII. PARÁMETROS DEL CONTROLADOR OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS.	6
TABLA IX. COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO INGRESADO.....	11
TABLA X. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (MANUAL).	11
TABLA XI. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (AUTOMÁTICO).	12



VI. RESUMEN

El desarrollo de este estudio se fundamenta en dar solución a un equipo médico de esterilización que actualmente se encuentra en desuso, por este motivo se implementó un sistema de control y automatización en un autoclave esterilizador analógico, para lograr esto, se implementó un controlador PI utilizando una ESP32, además, se integró una termocupla para monitorear la temperatura, de igual manera se agregó una pantalla Nextion para facilitar la interacción con el autoclave, la cual permite ingresar y visualizar los valores de tiempo y temperatura, por otra parte, se sustituyó la válvula original por una electroválvula de mayor precisión del flujo. Tras las pruebas realizadas, se confirmó que el sistema alcanza y mantiene la temperatura deseada, también se realizó una prueba química que validó la efectividad de la esterilización, finalmente, estos resultados permiten concluir que el trabajo realizado cumple con los objetivos establecidos para reutilizar y actualizar el esterilizador médico.

Palabras clave: Automatización, ESP32, autoclave, control de temperatura, controlador PI, esterilización.

VII. ABSTRACT

The development of this work is based on providing a solution to a medical sterilization equipment which is currently obsolete. For this reason, a control and automation system was implemented in an analogical steam sterilizer. To achieve this, a PI controller was implemented by using an ESP32. Additionally, a thermocouple was integrated to control and visualize the temperature, a Nextion display was added to facilitate the human-machine interaction, which allows setting and visualizing the time and temperature values, and the original valve was replaced by a solenoid valve with a higher flow precision. After the tests were performed, it was confirmed that the system reaches and maintains the desired temperature. A chemical test was also used to validate the effectiveness of sterilization. Finally, these results allow to conclude that the work performed accomplish the objectives established to reuse and update the medical sterilizer.

Keywords: Automation, ESP32, PI controller, autoclave, sterilization, temperature control.



Este certificado se encuentra en el repositorio digital de la Universidad del Azuay, para verificar su autenticidad escanee el código QR

Este certificado consta de: 1 página