

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
Y SUPERVISIÓN AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE
ESTERILIZADO EN LA AUTOCLAVE A VAPOR CISA 4210HB
DEL HOSPITAL ESSALUD MOQUEGUA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. LIZBETH YASMINE HUAMANI CONDORI

TACNA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
Y SUPERVISIÓN AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE
ESTERILIZADO EN LA AUTOCLAVE A VAPOR CISA 4210HB
DEL HOSPITAL ESSALUD MOQUEGUA”**

Tesis sustentada y aprobada el 03 de diciembre de 2021, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE: Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA

SECRETARIO: Mtro. MARKO JESÚS POLO CAMACHO

VOCAL: Mag. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA

ASESOR: Mag. HUGO JAVIER RIVERA HERRERA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Lizbeth Yasmine Huamani Condori, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de *Ingeniería Electrónica* de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 71975965.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada: *“Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado en la autoclave a vapor Cisa 4210HB del Hospital Essalud Moquegua”*
La misma que presento para optar:
El título profesional de ingeniero electrónico
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a La Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a La Universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 3 de diciembre de 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lizbeth Y. Huamani Condori', written over a horizontal line.

Bach. Lizbeth Yasmine Huamani Condori
DNI 71975965

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a DIOS por darme salud y acompañarme en todo momento.

Dedico mi tesis a mi FAMILIA, por impulsarme en todo momento a lograr culminar este trabajo. Sus muestras de amor y comprensión me han hecho que se una mujer de bien, tengo la bendición de ellos en todo momento a lo largo de mi vida.

Y a las PERSONAS que confiaron en mí

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1. 1 Descripción del problema.....	3
1. 2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2 Problemas específicos	4
1. 3 Justificación y limitaciones	4
1.3.1 Social	4
1.3.2 Tecnológica	4
1.3.3 Económico	5
1.3.4 Limitaciones.....	5
1. 4 Objetivos de la investigación.....	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1. 5 Hipótesis	6
1.5.1 Hipótesis General.....	6

1.5.2	Hipótesis específicas.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		8
2.1	Antecedentes del estudio	8
2.1.1	Internacional	8
2.1.2	Nacional.....	8
2.2	Bases teóricas	9
2.2.1	Esterilización.....	9
2.2.2	Autoclave a vapor.....	12
2.2.3	Normativa Técnica.....	16
2.2.4	Componentes principales.....	18
2.3	Definición de términos	25
2.3.1	Sistema automatizado	25
2.3.2	Esterilizado	25
2.3.3	Autoclave	25
2.3.4	Control ON/OFF.....	25
2.3.5	Vacío.....	26
2.3.6	Lista de recetas	26
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		27
3.1	Tipo y Nivel de la investigación	27
3.2	Operacionalización de variables	27
3.3	Diseño de la solución	28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		30
4.1	Levantamiento de información del proyecto	30
4.1.1	Requerimientos del cliente	30
4.1.2	Lineamientos del proyecto	30
4.1.3	Descripción de partes de autoclave.....	31
4.1.4	Evaluación técnica del equipo.....	34

4.1.5	Estudio de pre-operatividad	35
4.2	Diseño del automatismo.....	42
4.2.1	Modelamiento del sistema.....	42
4.2.2	Proceso de esterilizado	46
4.2.3	Control del proceso	47
4.2.4	Plano P&ID	48
4.2.5	Variables para el PLC.....	49
4.2.6	Selección de equipos de automatización.....	50
4.2.7	Arquitectura del proyecto	52
4.3	Verificación de resultados	76
4.3.1	Bowie & Dick.....	76
4.3.2	Proceso de Esterilización Instrumental.....	78
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		81
CONCLUSIONES		82
RECOMENDACIONES.....		84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		85
ANEXOS		89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Válvula neumática de asiento inclinado	18
Figura 2. PT100 de alambre enrollado	19
Figura 3. PT100 de película fina	20
Figura 4. PLC Micrologix1400	22
Figura 5. Panel View Plus 7	24
Figura 6. Diagrama de control de esterilizador	29
Figura 7. Diagrama de dirección del proyecto.....	30
Figura 8. CPM2A- CPU41 Omron	32
Figura 9. Descripción de expansiones OMRON	33
Figura 10. NT21-ST121-E Omron	34
Figura 11. Accionamiento de puerta.....	35
Figura 12. Neumática de actuadores	36
Figura 13. Activación del vacío.....	37
Figura 14. Contactor 3RT1024-1BE40 SIEMENS	37
Figura 15. Limitador de sobretensiones 3RT1916-1BB00 SIEMENS	38
Figura 16. Térmico Siemens.....	38
Figura 17. Intercambiador de calor.....	39
Figura 18. Trampa de vapor	40
Figura 19. Funcionamiento de Bomba de vacío de anillo líquido	40
Figura 20. Área de Trabajo de la autoclave	41
Figura 21. Identificación de la planta en Matlab.....	44
Figura 22. Identificación de la planta con dos polos	45
Figura 23. Proceso de esterilizado	46
Figura 24. Grafica de presión y temperatura del proceso de esterilización	47
Figura 25. Sistema de control de autoclave.....	47
Figura 26. Diagrama P&ID de autoclave Cisa 4210HB modificada.....	48
Figura 27. Presostato y visión interna	51
Figura 28. Diagrama de secuencia del proyecto.....	52
Figura 29. Diagrama de bloques del sistema de control y supervisión	53
Figura 30. Topología Bus Modbus	54
Figura 31. Configuración RS-232	55
Figura 32. Visualización en RSWho	55

Figura 33. Verificación de conexión en RsLogix500	56
Figura 34. Selección de Modulo RTD.....	56
Figura 35. Configuración de HMI en RSLinx.....	57
Figura 36. Selección de aplicación HMI	57
Figura 37. Nuevo Proyecto	58
Figura 38. Configuración Rslinx-HMI.....	59
Figura 39. Comunicación de PLC en Factory Talk View	59
Figura 40. Creación de servidor OPC	60
Figura 41. Diagrama de bloques de proceso de esterilizado.....	61
Figura 42. Inicio de proceso	63
Figura 43. Etapa de vacío.....	64
Figura 44. Etapa de esterilizado	65
Figura 45. Etapa de secado.....	66
Figura 46. Etapa de aireación.....	67
Figura 47. Menú principal HMI.....	73
Figura 48. Pantalla de usuario programable	73
Figura 49. Pantalla de proceso.....	74
Figura 50. Pantalla de mantenimiento HMI	75
Figura 51. Ventana de alarmas	75
Figura 52. Test de Bowie & Dick	76
Figura 53. Test de Bowie & Dick antes del esterilizado.....	77
Figura 54. Test de Bowie & Dick satisfactorio.....	77
Figura 55. Grafica del proceso de instrumental	78
Figura 56. Material instrumental	79
Figura 57. Indicador biológico post-esterilizado.....	79
Figura 58. Incubación de los indicadores biológicos.....	80
Figura 59. Registro de indicador biológico	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de PLC Micrologix 1400	21
Tabla 2. Características de Panel View Plus 7	23
Tabla 3. Operacionalización de variables	27
Tabla 4. Alarmas del sistema	68
Tabla 5. Fallas y causas del sistema.....	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia	89
Anexo 2. Datos en tiempo real	90
Anexo 3. Programación Ladder	92
Anexo 4. Programación Ladder	95
Anexo 5. Programacion Ladder	101

RESUMEN

La tesis expuesta es una solución de automatización para la autoclave Cisa 4210HB, la cual se encontraba inoperativa debido a que el controlador principal estaba dañado. Según las cotizaciones del mercado, este controlador dedicado ya no es producido en el mercado. Siendo este equipo de vital importancia para este hospital, los altos directivos de la entidad solicitaron propuestas al área de mantenimiento para la reparación o cambio de la autoclave. Según la evaluación técnica de la autoclave, se propuso como alternativa cambiar el controlador por un Controlador Lógico Programable (PLC), siendo aceptada esta propuesta, se inició el proyecto del Diseño e Implementación de un nuevo “Sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado en la autoclave a vapor Cisa 4210HB”. El contenido de esta tesis es el siguiente, en el Capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema, descripción de los problemas, objetivos, hipótesis, la justificación y limitaciones de este proyecto, en el Capítulo 2 se presentan los conceptos y tecnologías necesarias para la implementación, en el Capítulo 3 se muestra el diseño de la solución en función a la problemática planteada en el Capítulo 1, en el Capítulo 4 se describe el diseño, desarrollo e implementación del proyecto, en el Capítulo 5 se presentan los resultados de la implementación. Finalmente, en la última parte se presenta las conclusiones y recomendaciones.

Palabras claves: Automatización, autoclave, diseño, esterilizado.

ABSTRACT

The thesis presented is an automation solution for the Cisa 4210HB autoclave, which was inoperative because the main controller was damaged. According to market quotes, this dedicated controller is no longer produced on the market. As this equipment is of vital importance for this hospital, the senior managers of the entity requested proposals from the maintenance area for the repair or change of the autoclave. According to the technical evaluation of the autoclave, it was proposed as an alternative to change the controller for a Programmable Logic Controller (PLC), this proposal being accepted, the project for the Design and Implementation of a new "Automatic control and supervision system for the sterilization process in the autoclave was started. steam Cisa 4210HB ". The content of this thesis is as follows, in Chapter 1 the problem statement, description of the problems, objectives, hypotheses, the justification and limitations of this project are presented, in Chapter 2 the concepts and technologies necessary for the implementation, Chapter 3 shows the design of the solution based on the problem raised in Chapter 1, Chapter 4 describes the design, development and implementation of the project, Chapter 5 presents the results of the implementation. Finally, the last part presents the conclusions and recommendations.

Key words: Automation, autoclave, design, sterilization.

INTRODUCCIÓN

Durante la segunda mitad del siglo XIX los médicos empezaron a desinfectar y esterilizar ropas, instrumentos y manos, pues todas las mencionadas tenían contacto directo con el paciente, el resultado fue una reducción de mortalidad al 9%. Pasteur y sus investigaciones en la línea científica-experimental sobre como los gérmenes causan enfermedades, establecieron prácticas de asepsia, que posteriormente llegarían a ser aplicadas en todos los ámbitos de la industria alimentaria, salud y ciencias experimentales (Olson, 2013).

La historia de las autoclaves empieza con el digestor de vapor durante el renacimiento en 1680, Denis Papín un físico francés crea un sello hermético entre olla y tapa lo que permitía que el vapor se quede dentro de la olla aumentando la presión y penetrando con vapor todo lo que estaba dentro. En 1876 Charles Chamberland tomando el diseño de la “olla a vapor” de Papín, desarrolla el primer esterilizador de vapor a presión. El ingeniero Weeden Underwood en 1933, realiza investigaciones en E.E.U.U. para el desarrollo de esterilizadores de temperatura controlada, lo que influye en los modelos de esterilizadores actualmente conocidos (Skellie, 2010).

Las autoclaves son el núcleo de cualquier centro hospitalario, son estos equipos los encargados de garantizar la esterilidad de los materiales utilizados en todo el hospital, tales como: instrumental quirúrgico, accesorios de equipos Biomédicos, textil de Sala de operaciones, entre otros. Para garantizar la esterilidad del proceso y de los paquetes involucrados, se usan diversos indicadores biológicos y químicos.

Las autoclaves en Perú deben cumplir ciertas normativas nacionales e internaciones; a nivel nacional el “Manual de desinfección y esterilización hospitalaria” por Borja et al. (2002) y “Guía técnica para el mantenimiento Preventivo de esterilizadores a vapor” (Ministerio de Salud [MINSA], 2015), mientras que a nivel internacional la Organización Panamericana de la salud (OPS) es la encargada de verificar y estandarizar los protocolos y procedimientos de esterilización.

El “Manual de esterilización para centros de salud” escrito por Acosta y De Andrade (2008) de la OPS establece normas que orientan sobre los pasos desde recepción de material hasta almacenamiento del material estéril.

El incumplimiento de la normativa técnica por estándares nacionales e internacionales no garantizan un correcto proceso de esterilización por ende podría existir una contaminación biológica a la salud del paciente.

El desarrollo tecnológico en el campo de la Automatización y Control de Procesos ha traído consigo la factibilidad de implementarse en diversos tipos de procesos, esto permite mejorar el rendimiento y la eficiencia de diversos procesos industriales. En el desarrollo de esta tesis se propone el desarrollo de un sistema automatizado de control y supervisión que restablezca la operatividad a la autoclave horizontal a vapor Cisa 4210HB del Hospital Es-salud Moquegua. El diseño de fábrica de esta autoclave es con una tarjeta electrónica la cual controla todo el proceso de esterilizado. En los últimos meses, se ha venido presentando múltiples suspensiones aleatorias que ocasionaban la interrupción del proceso de esterilizado. Estos errores se atribuyen a un problema del controlador de la tarjeta electrónica, es así que se decidió reemplazar dicha tarjeta, sin embargo, el fabricante ya no la comercializa, por lo cual la autoclave quedo inoperativa. Por tal motivo para reactivar el funcionamiento completo de la autoclave, se ha visto dos opciones: implementar un nuevo controlador con un sistema embebido o usar un PLC. En este proyecto de tesis se propone desarrollar el sistema de control y supervisión automático usando un PLC y un HMI e implementar este sistema en la autoclave, guiándonos completamente del manual técnico del equipo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. 1 Descripción del problema

La demanda de atención en los centros de salud está creciendo de manera proporcional al crecimiento de la población. En la ciudad de Moquegua la demanda de atención crece de manera exponencial, siendo vital que los establecimientos de la salud tengan el equipamiento operativo para poder brindar la atención necesaria.

En el Hospital Es salud Moquegua, se tiene cada vez más intervenciones quirúrgicas, dicho contexto requiere que la central de esterilización cuente con el equipamiento necesario para cumplir con la demanda requerida. Actualmente, este servicio cuenta con dos autoclaves a vapor que trabajaban, sin embargo, la autoclave horizontal a vapor Cisa 4210HB se encuentra con fallas técnicas causadas por el microcontrolador de la tarjeta de control, quedando la autoclave inoperativa. Dicha tarjeta requería ser cambiada, pero esta tarjeta ya no es producida por el fabricante, lo que induce necesariamente a dar de baja al equipo o diseñar un nuevo sistema de control. Por tanto, ante esta necesidad y teniendo disposición tecnológica, se propone un nuevo sistema de control de características industriales que reemplace la tarjeta de control de la autoclave.

1. 2 Formulación del problema

1.2.1 *Problema general*

¿Cómo el diseño e implementación de un sistema de control y supervisión automático influye en el proceso de esterilizado de la autoclave a vapor Cisa 4210HB?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué información de la autoclave a vapor Cisa 4210HB deberá ser recopilada, definida y estructurada?
- ¿Cómo se realizará el diseño e implementación del algoritmo de control y supervisión en la autoclave Cisa 4210HB?
- ¿Cómo verificar que el diseño e implementación del sistema de control y supervisión alcanza los valores de presión y temperatura del proceso de esterilizado?

1.3 Justificación y limitaciones

1.3.1 Social

Con este proyecto serán beneficiados los pacientes y el personal debido a que, al restablecerse el funcionamiento de la autoclave se tendrá suficiente capacidad para satisfacer la demanda de material a esterilizar aumentando la cantidad de intervenciones quirúrgicas y reduciendo la labor de los trabajadores de central de esterilización es hasta altas horas de la noche.

1.3.2 Tecnológica

La autoclave Cisa 4120HB ha funcionado correctamente durante varios años, sin embargo, hace unos meses se presentó una falla irreversible en la tarjeta de control siendo necesario su reemplazo, pero no existe producción vigente debido a la antigüedad del modelo. La autoclave estaba por ser considerada como un equipo para baja por estar inoperativa y por haber cumplido los años de trabajo de acuerdo a la norma. Según el diagnóstico técnico de la empresa a cargo, este equipo físicamente se encuentra bien para operar por algunos años más. Ante esta necesidad, se propone una solución con controlador de grado industrial debido a las condiciones ambientales. Se

propone el uso de un Controlador lógico programable (PLC) y una pantalla Human Machine Interface (HMI) como sistema de Control y Supervisión. Conociendo los antecedentes de autoclaves que funcionan con estos, podemos afirmar que es un sistema robusto para la industria, versátil, efectivo y óptimo; su garantía dependerá principalmente de la programación y las pruebas que se realicen.

1.3.3 Económico

Este proyecto permitirá poner operativo a la autoclave, lo que implicaría evitar un costo elevado para la compra de uno nuevo. También, la propuesta de un PLC y un HMI garantiza varios años de funcionamiento con un costo pequeño de mantenimiento.

1.3.4 Limitaciones

1.3.4.1 Limitaciones del proyecto

No existe una vasta información sobre la programación del algoritmo y solo se cuenta con un manual técnico, la información de internet sobre el equipo es limitada. El espacio de trabajo para la implementación es reducido y además se cuenta con un corto tiempo para la entrega del proyecto, debido a los gastos de esterilización del material en otra institución.

1.3.4.2 Limitaciones de la presentación del proyecto

Debido a la coyuntura del país, considerando que es un equipo de vital importancia en el hospital, se requiere de una orden justificada ante el director del hospital, el jefe del servicio y el jefe de mantenimiento para manipulaciones de software, como precaución para evitar manipulaciones innecesarias que puedan dejar al servicio y al hospital en general sin esterilizaciones, lo que acarrearía enormes gastos. Además, actualmente mi

persona no labora en dicha institución, por lo cual no se me permite manipular el equipo, por eso solo dispongo de las simulaciones y fotos tomadas hasta mi periodo laboral para demostrar el funcionamiento de dicha implementación.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado en la autoclave a vapor Cisa 4210 HB del Hospital Es-salud Moquegua.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar, definir y estructurar la información sobre la autoclave a vapor Cisa 4210HB.
- Diseñar e implementar el algoritmo de control y supervisión para la autoclave Cisa 4210HB.
- Verificar que el diseño e implementación del sistema de control y supervisión alcanza los valores de presión y temperatura deseados para el proceso de esterilizado.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

El diseño e implementación de un sistema de control y supervisión automático reestablecerá y optimizara el proceso de esterilizado de la autoclave a vapor Cisa 4210HB del Hospital Es-salud Moquegua.

1.5.2 Hipótesis específicas

- La recopilación, definición y estructuración de información de la autoclave a vapor Cisa 4210HB mejora el enfoque para el diseño del sistema de control y supervisión automático.
- El algoritmo de control y supervisión diseñado e implementado a la autoclave Cisa 4210HB es compatible y cumple los estándares para procesos de esterilizado.
- Se verifica el buen diseño e implementación del sistema de control y supervisión cuando alcanza los valores de presión y temperatura deseados para el proceso de esterilizado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Internacional

Saenz (2017) automatiza un equipo de auto-clavado antiguo aplicando ingeniería conceptual, básica y de detalle. Ella hace una evaluación previa para descartar fallas en el sistema mecánico y neumático y concluye que es necesario modernizar el controlador y reemplazar algunos accesorios mecánicos. Ella usa un control ON-OFF, que es básico pero efectivo mejorar el monitoreo y reactivar el funcionamiento de la autoclave, para el hardware usa un PLC y HMI.

Cortes y Suarez (2015) con la motivación de posicionarse en el mercado de los esterilizadores automatizados proponen un prototipo de autoclave hibrida ON-OFF semiautomático con dos sistemas de esterilización, que son: a vapor de agua y gas óxido de etileno (para materiales termo sensibles); su diseño en el auto clavado de vapor es eficiente, sin embargo la alternación con el método de gas aún requiere de ajustes para su implementación en campo: rapidez y garantía en la seguridad del usuario.

2.1.2 Nacional

Naveros (2019) en su tesis diseña un sistema automatizado para esterilización en la empresa Asepsis Perú S.R.L. Dicho proyecto tiene tres partes primordiales, centrándose en el diseño de un control automático para el mejor desempeño, fiable, eficiente y económico. Naveros, aplica conocimientos en diagramas de bloques y P&ID para explicar las etapas del proceso de esterilizado y aplico un control ON-OFF para el proceso.

Huaman (2019) propone una solución económica y efectiva para actualizar un esterilizador discontinuado por tecnología, el cual operaba manualmente. Con la finalidad de garantizar un control con un margen de error mínimo aplico un controlador

PID usando la tarjeta de hardware libre Arduino con un microcontrolador Atmega 2560 y para la interfaz de control y monitoreo uso un HMI.

En la investigación realizada por Sarco (2014) se tiene como objetivo la implementación de un control PID para un sistema que inicialmente tenía un control manual. Hace un énfasis en el uso del *PMBOK*® para la implementación del nuevo sistema de control y la interfaz humano-maquina.

En la tesis de Casilla y Reyna (2016) ellos implementan un sistema automatizado para una autoclave que inicialmente tenía un control manual. Este sistema de control manual resultaba costoso e ineficiente.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Esterilización

La esterilización es el proceso de eliminación de microorganismos perjudiciales para la salud de los seres humanos. La Organización mundial de la salud (OMS), recomienda que todo instrumento usado en la intervención de pacientes o haya tenido contacto con él, debe ser esterilizado antes de cada uso. Se utiliza para eliminar la contaminación microbiana de materiales, medios de cultivo, instrumentos, etc. y así mantener el estándar de asepsia, tal como lo indica el MINSA (2015).

2.2.1.1 Métodos de Esterilización

Como indica Mello (2016) el proceso de esterilización puede ser físico, físico-químico o químico.

- Métodos químicos: Existe dos métodos:
 - Líquido: Estos métodos utilizada peróxido de hidrogeno, glutaraldehido, formaldehido o ácido paracético.
 - Químico: Este método utiliza el óxido de etileno.

- Métodos Fisicoquímicos: Este método un agente esterilizante de vapor a baja temperatura con formaldehído o plasma de peróxido de hidrógeno.
- Métodos Físicos: Este tiene como agente esterilizante al calor, es uno de los métodos más económicos y seguros. Tenemos la esterilización por calor seco o calor húmedo.
 - Calor seco: El calor seco penetra lentamente, por lo cual requiere largos periodos de tiempo. La temperatura y tiempos mínimos para esterilizar por lo general son a 160°C por dos horas (Godoy, 2019).
 - Calor Húmedo: el calor húmedo en forma de vapor saturado a presión es el más utilizado y confiable. Este método no es tóxico y es económico.

2.2.1.2 Requerimientos para esterilizado

Se deben considerar ciertos requerimientos en un método de esterilizado:

- Efectividad: debe eliminar al menos el 90% de los gérmenes y bacterias
- Seguridad: para el usuario como para el paquete a esterilizar
- Rapidez: no debe superar el tiempo promedio, ya que una sobre exposición también traería daños, además el método escogido debe ser confiable. Se debe optimizar los tiempos.
- Penetración: la penetración a todas las superficies del paquete debe ser homogénea, y debe garantizar el cuidado del material que se esterilice, la sobre exposición a la humedad o calor degrada la utilidad de los materiales.
- Compatibilidad: referente al tipo de energía de alimentación que utiliza,
- Monitorización: los equipos modernos cuentan en su mayoría con un display o pantalla para el monitoreo del proceso.
- Aprobación: sea cual sea el método, debe contar con normas técnicas aprobadas, por entidades autorizadas por INACAL.

2.2.1.3 Controles de calidad de proceso de esterilizado

Aseguran la calidad del procedimiento y verifican si el material ha sido esterilizado correctamente. Se clasifican en: monitores físicos, indicadores químicos e indicadores biológicos.

- Monitores físicos: Mecánicamente supervisan el proceso como indica Borja et al. (2002) “permiten visualizar si el equipo ha alcanzado los parámetros exigidos para el proceso” incluye toda la instrumentación (p. 81).
- Indicadores químicos: Borja et al. (2002) nos menciona los tipos de indicadores químicos clasificados por su Clase.
 - Indicadores de proceso - cinta adhesiva - Clase I: son cintas termoquímicas que varían su coloración cuando se exponen y cumplen los parámetros para los que fueron diseñados (temperatura, tiempo y calidad del vapor). Cabe mencionar que solo viran si cumplen principalmente con el parámetro de temperatura.
 - Indicador específico – Test de Bowie Dick – Clase II: es un indicador de papel que cambia de color en función a los parámetros físicos de la autoclave. Su principal función radica en la comprobación del vacío, pre-vacíos, temperatura y presión del vapor conforme a los valores deseados para la autoclave. Su finalidad consiste en demostrar la ausencia de aire u otros gases no condensados en la cámara de esterilización que puedan impedir la rápida y uniforme penetración del vapor en el interior de la carga según.
 - Indicador de parámetro simple – Clase III: es un indicador de parámetro único, usualmente temperatura.
 - Indicador multiparámetro – Clase IV: es un tipo de indicador de múltiples parámetros mínimos (tiempo y temperatura) del proceso de esterilización. Consiste en una tira de papel impregnado con tinta termo-crómica, que cambia de color cuando ha sido expuesta a las condiciones mínimas necesarias del método.
 - Indicadores integrales – Clase V: son indicadores generales que manejan los tres parámetros principales y son más precisos que los indicadores de clase IV.
 - Simuladores indicadores de verificación de ciclos Clase VI, funcionan cuando el 95 % del ciclo ha concluido y son una mejora de los indicadores de clase V.

- Indicadores biológicos: constan de un preparado con diferentes microorganismos de alta resistencia (*Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus*, *Niger* y otros) y cuya muestra es sometida a la esterilización y conforme al resultado de la destrucción se comprueba la efectividad del esterilizado en la autoclave (Borja et al., 2002).

2.2.2 Autoclave a vapor

Es un esterilizador a calor húmedo o llamado a vapor, que efectúa el proceso siguiendo ciclos predefinidos en función al tipo de carga a esterilizar, tales como: porosos, instrumental quirúrgico, líquidos o material sensible al calor.

De acuerdo a Laboratorio Químico (2020) es muy importante que se tenga lo siguiente:

- Limpio: el vapor debe ser generado a partir de agua desmineralizada que haya pasado por osmosis inversa y ablandamiento, para evitar la corrosión del metal de la autoclave.
- Puro: Esto quiere decir que la presencia de agua en forma líquida sea muy baja, esto se considera cuando es menor al 3%.
- El vapor tiene que estar en contacto directo con el material a esterilizar (por lo que la distribución de la carga es muy importante).
- Crear el vacío efectivo con el fin de desplazar todo el aire presente inicialmente en la autoclave y su sustitución por vapor.

2.2.2.1 Tipos

En MINSA (2015) encontramos que las autoclaves a vapor se clasifican según el tipo de sistema de vacío y según la capacidad y posición de la cámara de vapor.

- a) Según el tipo de sistema de vacío:

- Gravitacionales: no cuenta con el sistema de vacío y emplea mayores tiempos. El vapor desplaza el aire, la cual sale de la cámara a través de una válvula. Este sistema no logra eliminar del 5 % al 10 % de aire interior.
 - De pre-vacío: Cuenta con una bomba de vacío o sistema Venturi, que tiene la función de sacar el aire de la cámara. Estos equipos requieren de un menor tiempo para el proceso de esterilización. Consiguen succionar el aire por medio del sistema de vacío e introduciendo vapor varias veces y en forma rápida, para forzar la salida del aire. Logran eliminar el 99 % del aire comprimido (MINSa, 2015)
- b) Según su capacidad y posición de la cámara de vapor:
- De mesa: tienen su cámara de vapor en posición horizontal. Generan su vapor mediante resistencias eléctricas ubicadas en la cámara. No requieren instalación fija, puede ser transportables.
 - Verticales: tienen su cámara de vapor en posición vertical. Tienen las resistencias eléctricas instaladas en la misma cámara para la producción de vapor o puede suministrársele el vapor desde un caldero de vapor externo. Generalmente son de tamaño pequeño a mediano.
 - Con cámara y camisa: estos equipos tienen cámara de vapor y camisa en posición horizontal, son de gran capacidad y requieren instalación fija. De acuerdo al MINSa (2015) se subdividen en:
 - Autoclaves con suministro de vapor de casa de fuerza: tienen una línea exclusiva de suministro de vapor que viene de casa de fuerza. Con presión de red de 415 KPa a 520 KPa (3.15 Bar a 4.2 Bar).
 - Autoclaves con caldero eléctrico: su suministro de vapor viene de un caldero de vapor propio instalado de fábrica.
 - Autoclaves mixto: cuenta con los dos sistemas anteriores, teniendo como fuente principal el de casa de fuerza, ante una eventual falla entra en funcionamiento el caldero eléctrico.

2.2.2.2 Ciclo de esterilización de autoclave a vapor

La autoclave se caracteriza por tener una cámara sellada en la que se introduce vapor de agua a alta presión y temperatura. Estas temperaturas superan los 100 °C,

generalmente entre 121 °C y 140 °C; y el tiempo de esterilizado se encuentra entre los 15 a 20 minutos.

Según MINSA (2015) un autoclave o esterilizador a vapor comprende de cinco etapas para el proceso de esterilización, a continuación se detalla de manera ordenada cada uno de ellos.

- a) Pre vacío: Una vez seleccionado el proceso deseado a esterilizar, la puerta se sella herméticamente, para continuar con la purga o extracción del aire que se encuentra dentro de la cámara. Durante este proceso se inyecta vapor de 200 KPa a 250 KPa y se extrae en forma pulsante a una presión de vacío de 20KPa a 50 KPa. El número de pulso varía de acuerdo al fabricante.
- b) Esterilización: Culminada la extracción de aire y el tiempo de pre vacío, se introduce vapor a la cámara dependiendo del tipo de material la presión será de 210 KPa o 320 KPa con temperaturas de 121 °C o 134 °C. Estos valores se mantienen constantes por el tiempo definido según proceso.
- c) Reducción de presión o alivio de presión: terminado el tiempo de esterilizado, se abre la válvula de descarga para que el vapor salga y baje la presión.
- d) Secado: se extrae el vapor remanente de la cámara. La presión de vacío recomendable es de 20 KPa y 50 KPa.
- e) Aireación o fin de ciclo: finalmente se permite el ingreso de aire a la cámara, este aire debe ser limpio por lo que su entrada consta de un filtro *HEPA*. El ingreso de aire es gradual hasta que se obtenga la misma presión que la presión atmosférica y permita la apertura de puerta.

2.2.2.3 Parámetros a controlar en una autoclave de vapor

- a) Vapor: Para el proceso de esterilizado el principal componente será el vapor, este deberá ser vapor saturado libre de impurezas. Acosta-Gnass y De Andrade (2008) indican que el vapor deberá llegar a todas las cavidades de la cámara y cubrir todos los paquetes dentro de la cámara.
- b) Tiempo: Es la fase de esterilización el periodo de duración será inversamente proporcional a la temperatura aplicada como lo indica Acosta-Gnass y De Andrade (2008).

- c) Temperatura: En la cámara varía entre 121 °C a 134 °C en la fase de esterilizado según el manual de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) como lo indica Acosta-Gnass y De Andrade (2008).
- d) Presión: la presión es importante para los pre-vacíos y como seguridad para evitar explosiones. Además, “la relación entre la presión y la temperatura del vapor debe ser constante y proveer vapor puro, sin aire u otro gas no condensable” según la Farmacéutica Silvia Robilotti (2016).

La Farmacéutica Silvia Robilotti (2016) afirma lo siguiente:

“Como el vapor de agua a presión atmosférica tiene una temperatura de 100 °C es necesario aumentar la presión de la cámara de esterilización para que aumente la temperatura hasta 121 °C o 134 °C y además deben poder mantener esta presión y temperatura en cámara el tiempo determinado para que se realice la esterilización de los materiales y con ello la ausencia de microorganismo de los elementos a procesar”.

2.2.2.4 Partes de la autoclave de vapor

Los esterilizadores, según el tipo y la marca, básicamente son conformados por las siguientes partes:

- a) Puerta: este cierra la cámara y mediante un sistema mecánico y neumático y usando una empaquetadura realiza un sellado hermético de la cámara y evita que ingrese o salga aire y vapor.
- b) Cámara: constituida de acero quirúrgico, es donde se coloca el material a esterilizar. Dentro de él se lleva el proceso de esterilización con presiones de vapor de 210 KPa y 320 Kpa con temperaturas de 121°C y 134°C, respectivamente (MINSA, 2015).
- c) Camisa o recámara, es una cámara más grande que recubre la cámara principal, hecho de acero quirúrgico. En este ingresa el vapor durante la esterilización y tiene la función de calentar las paredes de la cámara.
- d) Bomba de vacío: su función es retirar el aire del interior de la cámara para que el proceso de esterilización sea en un menor tiempo y más eficiente. También

interviene en el proceso de secado. Las presiones de trabajo para realizar el vacío esta entre 20 Kpa y 50 KPa.

- e) Generador de vapor incorporado: es un equipo que genera vapor saturado mediante resistencias eléctricas sumergidas, a la presión de 450 KPa a 600 KPa.
- f) Válvula de seguridad: tiene la función de abrirse en caso la presión de funcionamiento supere a la presión de operación normal. Es un elemento de seguridad.
- g) Electrobomba de caldero: tiene la función de inyectar agua blanda al caldero.
- h) Trampa de vapor: tiene la función de eliminar el condensado que se forma en la camisa y las tuberías y a la vez evita la fuga de vapor.
- i) Intercambiador de calor: es usada para enfriar determinados fluidos usando un fluido a temperatura ambiente.
- j) Compresor de aire: es equipo genera aire comprimido a presiones de 600 KPa a 1000 KPa. Dicho aire comprimido es usado para el accionamiento de electroválvulas, pistones y otros.
- k) Componentes complementarios: son los dispositivos electrónicos para el sistema de control y supervisión, tales como: tablero eléctrico, tarjeta de control o PLC, pantalla HMI o pantallas display, sensores, manómetros, termostatos, presostatos y otros.

Para la descripción de estas partes se usa como referencia (MINSA, 2015).

2.2.3 Normativa Técnica

En cuanto a la normativa se tiene normas nacionales e internaciones que abarcan desde los procedimientos para realizar la esterilización de material hasta el plan de mantenimiento de autoclaves a vapor.

2.2.3.1 Normas y procedimientos de la central y unidad de esterilización del seguro social de Salud (EsSalud)

Esta es una herramienta importante para todo personal de salud que labora en central de esterilización en ella encontramos normas y estándares de procedimientos, evaluación y supervisión del área de central de esterilización (EsSalud, 2016).

2.2.3.2 Guía técnica para el mantenimiento preventivo de esterilizadores a vapor

Esta guía sirve como referencia para orientar a los establecimientos de salud en la estandarización de los procedimientos para el mantenimiento y operación de los mismos, enfatizando los principales cuidados que se deben tener en cuenta con dicho tipo de equipamiento. Este guía incluye una descripción general de los equipos, imágenes, diagramas, materiales, repuestos e instrumentación (MINSA, 2015).

2.2.3.3 Instrument Society of America (ISA)

- ANSI/ISA-S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación).
- ANSI/ISA-S5.2 (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos).
- ISA-S5.3 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados).
- ANSI/ISA-S5.4 (Diagramas de lazo de instrumentación).
- ANSI/ISA-S5.5 (Símbolos gráficos para visualización de procesos).

2.2.3.4 Deutsches Institute für Normung (DIN)

- DIN 19227 Parte 1 (código de identificación de instrumentos y controles).
- DIN 19227 Parte 2 (Símbolos y gráficos).

2.2.4 Componentes principales

2.2.4.1 Válvulas neumáticas

La función de la válvula es “Abrir, regular o cerrar el flujo de un fluido, dicho fluido procedente cualquier origen”. La presión, temperatura y tipo de fluido definen el tipo de válvula a usar.

La Figura 1 muestra los tipos de válvulas de asiento inclinado y sus partes.

Figura 1

Válvula neumática de asiento inclinado



Nota. Descripción de válvulas neumáticas de asiento inclinado. Tomado de: (Control Valves, 2021).

Para las autoclaves generalmente se usan válvulas con accionamiento neumático el cual es controlado mediante un switch electrónico, usualmente relés, que son comandados desde un controlador dedicado o un PLC.

2.2.4.2 Sensores PT100

Los sensores de temperatura a menudo utilizan sondas de temperatura las cuales miden la temperatura y convierten estos valores en señales eléctricas (4-20Ma ó 0-10V)

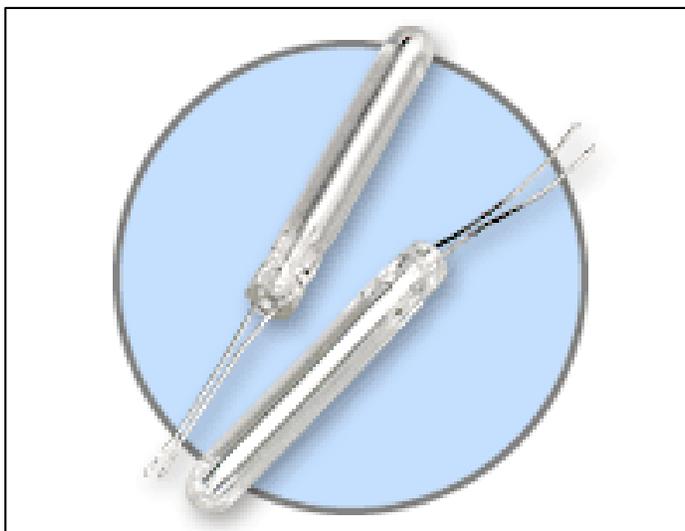
Existen dos versiones de sondas, por termopares y termo resistencias. Estas últimas son más conocidas como sensores de platino tipo PT100, porque están fabricados con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0°C. las características de estos sensores están establecidas en la IEC 60751.

Las termo resistencias (RTD) mide la temperatura mediante una oscilación de la temperatura en función de la variación de la temperatura y pueden estar hechos de hilo bobinado o de una película fina.

- a) Sensores PT100 de alambre enrollado. Tienen una longitud de alambre de platino enrollado en un núcleo de cerámica o vidrio, como se muestra en la Figura 2, generalmente de 1 a 5mm de diámetro y de 10 a 50mm de longitud. Debido a su fragilidad son protegidos dentro de una capsula metálica, así también, los hace menos sensibles a vibraciones del ambiente (OMEGA, 2020).

Figura 2

PT100 de alambre enrollado



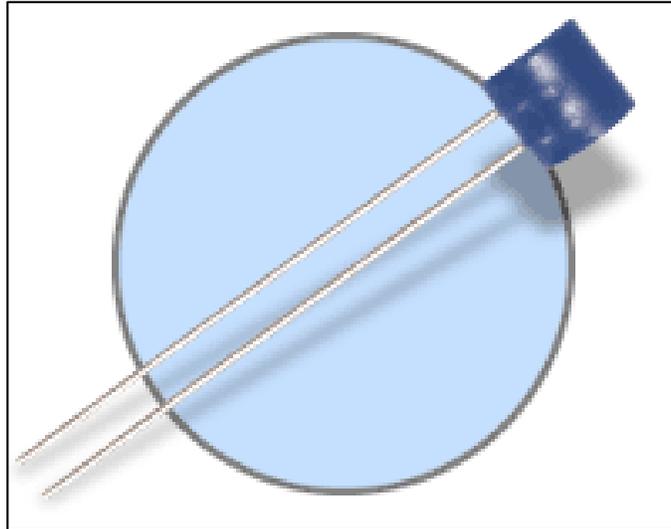
Nota. Sensor PT100 RTD 1PT100G Tomado de (OMEGA, 2020).

- b) Sensores PT100 de película fina. Como se muestra en la Figura 3, “Una película de platino se deposita sobre un sustrato de cerámica que se encapsula” (OMEGA,

2020). Este diseño permite que sean más pequeños, precisos y rápidos en lectura de datos.

Figura 3

PT100 de película fina



Nota. Sensor PT100 de película fina “F” series.

Tomado de: (OMEGA, 2020).

2.2.4.3 PLC Micrologix1400

El controlador lógico programable llamado también PLC, es un dispositivo de control, el cual es programado mediante un software propio de la marca del PLC. El PLC tiene periféricos de Entradas/Salidas, Módulos de comunicación y otros que permiten que sea adaptable según la necesidad. La mayoría de automatizaciones de la industria usa un PLC como sistema de control por su robustez para trabajar en ambientes hostiles, por su fiabilidad y por seguridad eléctrica.

El Micrologix 1400 es un PLC de la marca Allen Bradley, que permite adicionar módulos para expandir sus capacidades. Este modelo integra un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida y salida Ethernet integrada. Para la programación el software usado es el RSLogix 500 de Rockwell. En la Figura 4 se muestra de manera general las partes del PLC Micrologix1400.

Las características eléctricas del PLC Micrologix 1400 se muestran en la Tabla 1 mostrada a continuación.

Tabla 1

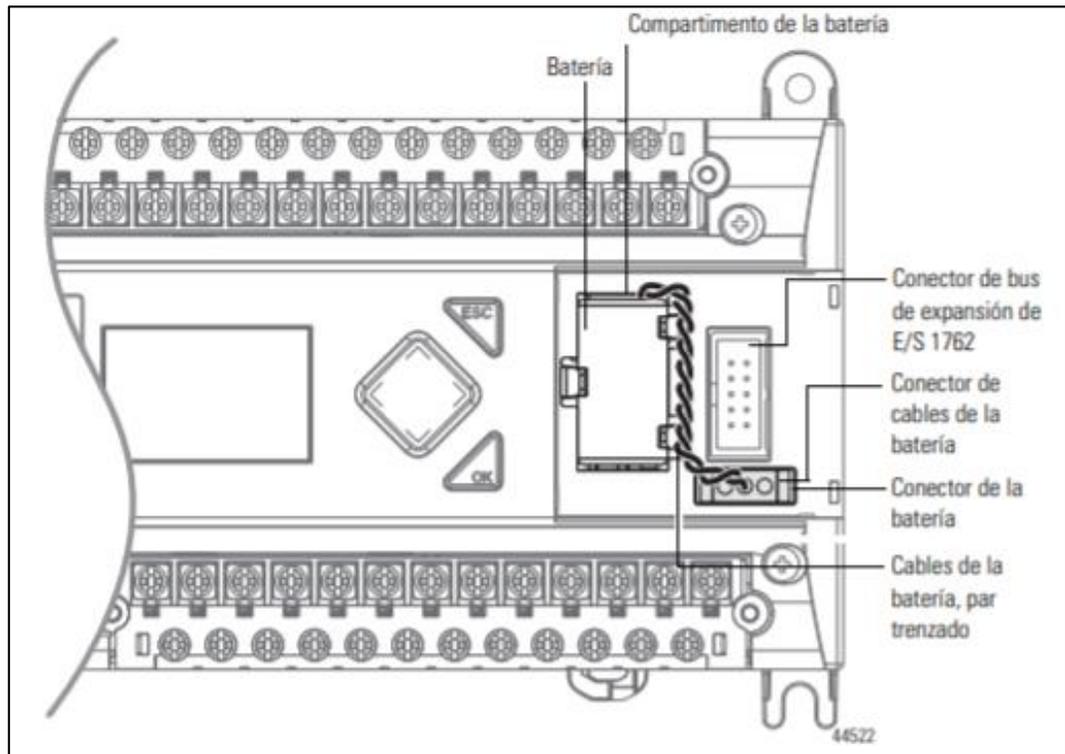
Características de PLC Micrologix 1400

Número de catalogo	Descripción			E/S analógicas incorporadas	Puertos de comunicación	
	Alim. Eléc. De entrada	Alim. Eléc. del usuario	E/S discretas incorporadas			
1766-L32BWA	100/240 VCA	24 VCC	12 entradas rápidas de 24VCC	Ninguna		
1766-L32AWA			8 entradas normales de 24VCC			
1766-L32BWB	24VCC	Ninguna	12 salidas de relé			
1766-L32BXC			20 entradas de 120 VCA			
1766-L32BXB	24VCC	Ninguna	12 salidas de relé			1 RS232/RS485 1 Ethernet/IP 1 RS232
1766-L32BXC			12 entradas rápidas de 24VCC			
1766-L32BWA	100/240 VCA	24 VCC	8 entradas normales de 24VCC	4 entradas de voltaje 2 salidas de voltaje		
1766-L32AWA			12 salidas de relé			
1766-L32BWA	24 VCC	Ninguna	12 salidas de relé			
1766-L32AWA			12 entradas rápidas de 24VCC			
1766-L32BWA	24 VCC	Ninguna	8 entradas normales de 24VCC			
1766-L32BWA			6 salidas de relé			
1766-L32BWA	24 VCC	Ninguna	3 salidas rápidas de CC			
1766-L32BWA			3 salidas normales de CC			

Nota: Tipos de PLC Micrologix 1400 y características de cada uno. Tomado de: (Rockwell Automation , 2015).

Figura 4

PLC Micrologix1400



Nota. Descripción de PLC Micrologix1400. Tomado de: (Rockwell Automation , 2015).

2.2.4.4 Allen-Bradley – Panel View Plus 7

Un HMI significa interfaz hombre máquina, esta es una interfaz de usuario que permite conectarse a una máquina. EL HMI es similar a la interfaz gráfica de usuario (GUI), pero HMI aprovecha la funcionalidad de la GUI.

La HMI es ampliamente usada en la industria, para: visualizar datos, monitorear en tiempo real los parámetros de una máquina, supervisar los KPI y rastrear tendencias. Un operador de un equipo podría usar la HMI para monitorear y controlar los parámetros de un proceso y ver el funcionamiento de determinados actuadores y sensores. Las HMI se comunican con controladores lógicos programables y sensores, de los cuales puede mostrar en una interfaz los símbolos de los sensores como las mediciones pertenecientes a la instrumentación conectada al PLC. (Pulley y Flores, 2019)

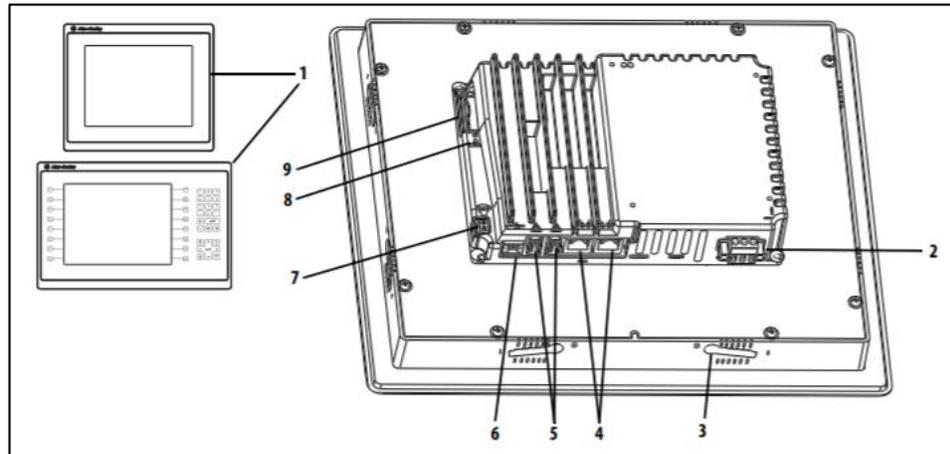
La gama de *Allend Bradley Panel View Plus 7* está disponibles en versiones según estándar de comunicación y tamaños de pantalla de 4 a 19 pulgadas con opciones de pantalla ancha. Para su programación se usa *FactoryTalk® View Machine Edition* para crear su aplicación y ayudar a simplificar la configuración y fortalecer su solución de Arquitectura Integrada. Las características técnicas se muestran a continuación en la Figura 5 y Tabla 2 (Rockwell Automation , 2015).

Tabla 2

Características de Panel View Plus 7

Ítem	Característica	Descripción
1	Pantalla/mini teclado	Pantallas graficas en color TFT con capacidad táctil y botón de navegación en varios tamaños. Algunos modelos incluyen también un mini teclado y teclas de función para ofrecer al operador opciones de entradas adicionales Pantalla táctil o táctil con mini teclado de 6.5 pulg. Pantalla panorámica táctil de 9 pulg. Pantalla táctil o táctil con mini teclado de 10.4 pulg. Pantalla panorámica táctil de 12.1 pulg. Pantalla táctil o táctil con mini teclado de 15 pulg. Pantalla táctil de 19 pulg.
2	Alimentación	Entrada de alimentación de CA o CC 18...30VCC (aislada) 100...240 VCA nom (85...264 VCA)
3	Ranura de montaje	Las ranuras ubicadas en la parte superior, inferior y los laterales del terminal sirven para montar el dispositivo en un panel o en un envolvente mediante las palancas de montaje. El número de ranuras varía según el tamaño del terminal
4	Puertos Ethernet	Dos puertos Ethernet 10/100Base-T, Auto MDI/MDI-X, para comunicación con el controlador y compatibles con topología de red de anillo a nivel de dispositivos (DLR)
5	Puertos anfitriones USB	Dos puertos anfitriones USB 2.0 de alta velocidad (Tipos A)
6	Puertos para dispositivos USB	IMPORTANTE: El puerto para dispositivos no está operativo. No lo utilice
7	Salida de audio	Un puerto de salida de audio admite la conexión con un altavoz o amplificador de 4 Ohm u 6 Ohm.
8	Indicadores de estado	Los diodos emisores de luz de la parte posterior de los terminales indican el estado y las condiciones de fallo
9	Ranura para tarjetas Secure Digital (SD)	Una ranura para tarjetas SD es compatible con la tarjeta SD intercambiable con el sistema activado, numero de catálogo 1784-SDx, para almacenamiento externo.

Nota. Características de Panel View Plus 7. Tomado de: (Rockwell Automation , 2015).

Figura 5*Panel View Plus 7*

Nota. Vista de frente y frontal de Panel View Plus 7. Tomado de: (Rockwell Automation , 2015).

2.2.4.5 Software RSLogix 500

RSLogix 500 paquete de programación es compatible con los programas creados con paquetes de programación basados en Systems O(DOS) de *Rockwell Software* para el SLC 500 y *MicroLogix* familias de procesadores. También es compatible con Factory Talk View.

2.2.4.6 Software Factory Talk View

Es una plataforma de programación para diseño de visualizadores gráficos en HMI, compatible con Panel View Plus 400/600/700/1250/1500/Compact 400/Compact 600/Compact 1000. Permite tres modos de programación: Side Edition, Machine Edition y Network Edition.

2.3 Definición de términos

2.3.1 Sistema automatizado

Es un sistema que comprende de la implementación de un conjunto de reglas dadas por un experto para ejecutar un proceso usando como base la lectura de sus entradas para luego emitir acciones de control sobre actuadores. Su objetivo es mejorar la producción de la empresa, optimizando los costos de producción y las condiciones laborales de los trabajadores. (Hernani, et al., 2002)

2.3.2 Esterilizado

Proceso en el cual se elimina agentes bacteriológicos contaminantes para el paciente mediante algún tipo de energía. (MINSA, 2015)

2.3.3 Autoclave

Equipo de grado médico que, aplicando altas temperaturas de vapor en una cámara sellada, mayores a 120°, elimina agentes bacteriológicos (Casilla y Reyna, 2016).

2.3.4 Control ON/OFF

Llamado control de encendido – apagado, este controlador opera mediante valores de consigna para encender y apagar, es decir, llegado al valor de consigna el controlador emitirá una acción de control de encendido y llegado al segundo valor de consigna se emitirá una acción de control de apagado. (Huaman, 2019)

2.3.5 Vacío

En el contexto de esterilizaciones, el vacío consiste de ausencia de aire o cualquier gas en un determinado lugar, generando presiones negativas con respecto al ambiente exterior (CISA, 2001).

2.3.6 Lista de recetas

Se denomina lista de recetas a los programas diseñados y configurados en tiempo, temperatura y presión para facilitarle el trabajo al personal usuario a cargo de la esterilización del material médico (Pulley y Flores, 2019).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Nivel de la investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental y nivel aplicado para la resolución del planteamiento del problema, siguiendo un lineamiento para la elaboración de la resolución del proyecto de tesis, que certificará la solución a la hipótesis generada. Se diseña un sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado de la autoclave de vapor CISA 4210HB, hecha la simulación y evaluaciones técnicas del sistema se procede a implementar en la misma autoclave. Es del tipo aplicada porque se caracteriza en resolver problemas y atender necesidades concretas.

3.2 Operacionalización de variables

En la Tabla 3 observamos la operacionalización de la variable dependiente e independiente. En el Anexo 3 podemos observar la matriz de consistencia.

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
Dependiente: Proceso de esterilizado	Conjunto de operaciones para obtener un producto estéril	Dimensión de variable dependiente: Proceso de esterilizado	Indicador de variable dependiente: Comportamiento de temperatura y presión.

Tabla 3 (continuación)

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
Independiente: Sistema de control y supervisión automático	Conjunto de elementos que se relacionan entre sí, el cual es observado con el objetivo de corregir y/o modificar de manera autónoma un proceso que emula el comportamiento humano (AULA21, 2020).	Dimensión de variable independiente: Sistema de control Dimensión de variable independiente: Sistema de supervisión	Indicador de variable independiente (Sistema de control): Tiempo de asentamiento del sistema Indicador de variable independiente (Sistema de supervisión): Reporte de eventos.

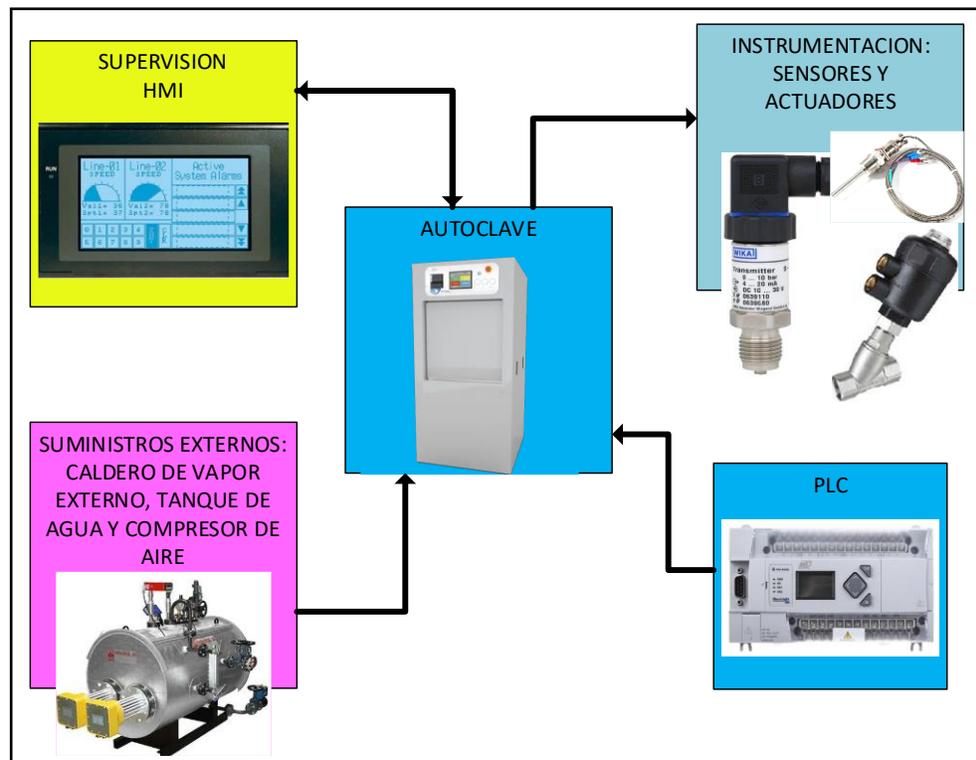
3.3 Diseño de la solución

Como se planteó en la problemática, la autoclave horizontal a vapor CISA 4210HB se encuentra con fallas técnicas causadas por el microcontrolador de la tarjeta de control, quedando la autoclave inoperativa. Habiendo hecho la evaluación técnica respectiva de los otros componentes del equipo, se concluyó que la mejor solución al problema es cambiar el controlador. La alternativa de compra de una nueva autoclave fue descartada debido a que demandaría un gasto muy grande; durante el proceso de compra se requería del servicio de esterilización por terceros, el cual según las estimaciones del área de logística sería un costo significativo.

Como primer paso para el diseño de la solución se debe conocer el proceso de esterilizado. La Figura 6 muestra un diagrama general del esterilizador y sus componentes.

Figura 6

Diagrama de control de esterilizador



Nota: Diagrama de visualización general de componentes del sistema

La segunda parte consto en corroborar la evaluación técnica. Para garantizar que sea correcta se procedió a verificar el funcionamiento de los sensores y actuadores que se habían considerado operativos, la prueba consta en:

- Alimentar eléctricamente con una tensión adecuada cada sensor según sus características y realizar las lecturas de señal.
- Para los actuadores neumáticos tales como cilindros y válvulas se alimentó con una señal neumática y/o eléctrica y observar sus respuestas.

Conociendo las herramientas, elementos e instrumentos con los que se cuenta, la tercera parte de la solución consistirá en delimitar los alcances para el diseño del algoritmo de control.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Levantamiento de información del proyecto

4.1.1 Requerimientos del cliente

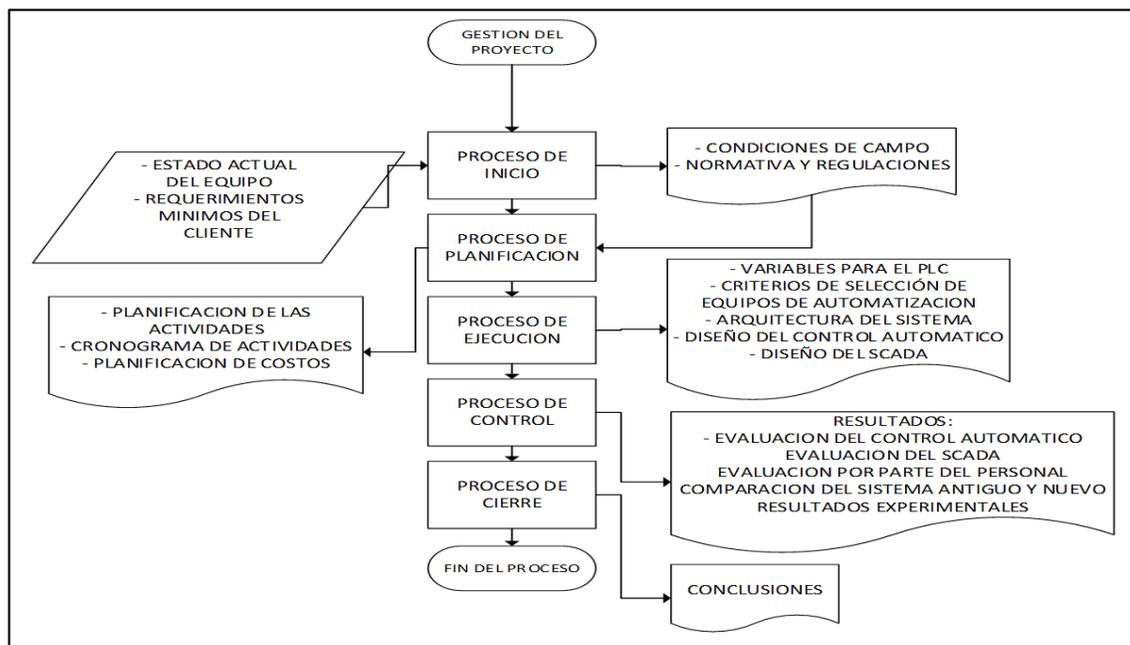
Para facilitar el esterilizado del material, el cliente solicita un programa que permita la selección de una lista de recetas pre-programadas, tales como: instrumentación, gomas, textil y Bowie & Dick como mínimo.

4.1.2 Lineamientos del proyecto

Basándome en la guía PMBOK identifiqué 5 macro procesos para el desarrollo de un proyecto como se muestra en la Figura 7 (Project Management Institute, Inc. [PMI], 2013).

Figura 7

Diagrama de dirección del proyecto



Adaptado de: (Project Management Institute, Inc. [PMI], 2013).

4.1.3 Descripción de partes de autoclave

El sistema antiguo era un sistema eficiente, contaba con las recetas de textil, instrumental, gomas, líquidos, test de Bowie Dick y Test de vacío; y permitía la supervisión del proceso en el touch screen.

El sistema de control antiguo contaba con sensores PT100 para control de temperatura en la cámara y chaqueta y un transmisor de presión para control de los vacíos y test de vacío en la cámara. Además, controlaba la apertura y cierre de válvulas en todos los procesos, así como las bombas de vacío y agua.

Los procesos están programados para trabajar a 134°C o 121°C según normativa.

La estructura de la cámara está conforme a la Directiva Europea PED (Directiva de Equipo bajo Presión) 97/23/CE.

El control de apertura y cierre de la puerta se hacía manualmente, mediante variables enlazadas al touch-screen. El sistema de cierre de la puerta trabaja con un sistema de cilindro con contrapeso de acuerdo a las normas de seguridad, permitiendo que el sistema neumático desarrolle una presión de empuje de trabajo de 150N. Existe un sensor de fin de carrera que indica que se ha cerrado correctamente y puede iniciar cualquier proceso.

Al final de cualquier proceso se realiza un vacío para poder separar la empaquetadura de la puerta para así conseguir una apertura fácil por parte del usuario.

Según fabricante la garantía del equipo respecto a su fabricación y diseño tiene una garantía de 20 años.

4.1.3.1 Controlador

El controlador de fábrica es un Controlador Lógico Programable de la Marca Omron, Modelo 2A- CPU41 como se ve en la Figura 8, de 12 puertos, 8 entradas y 4

salidas digitales, 2 entradas analógicas, 1 salida analógica y una entrada PT100. Adicional a esto se le añadieron las Unidades de Expansión:

- Unidad de E/S Analógicas CPM1A-MAD01, 2 entradas y 1 salida analógica
- Unidad de expansión de E/S CPM1A-8ER, 8 salidas tipo Relé.

Entre las características principales del control automático y su entorno se tiene los siguientes puntos:

- Permite hasta 3 Unidades de Expansión E/S incluyendo Unidades de Expansión Analógicos. Véase Figura 9.
- Puerto de periféricos incorporado: Soporta host link, bus de periféricos, sin protocolo o consola de programación
Puerto RS-232C incorporado: Soporta host link, sin protocolo, unidad esclava 1:1, unidad maestra 1:1, o NT link 1:1.

Figura 8

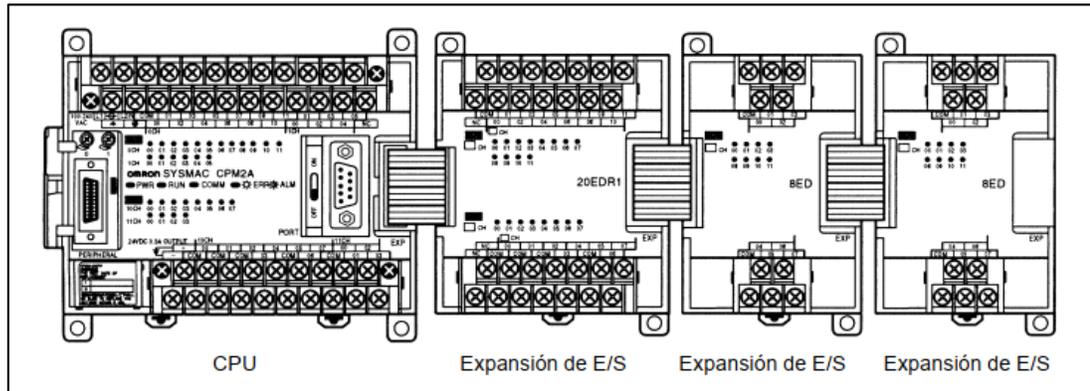
CPM2A- CPU41 Omron



Tomado de: (WIAUTOMATION, 2020).

Figura 9

Descripción de expansiones OMRON



Tomado de: (OMRON, 2020).

4.1.3.2 Interfaz humano maquina (HMI)

El interfaz humano maquina (HMI) del sistema antiguo cuenta con las siguientes características:

- Es una pantalla táctil de cortas dimensiones, 117 x 63 mm (horizontal x vertical) exactamente
- Pantalla BLUE, monocromática
- Resolución de 260 x 140 puntos (horizontal x vertical)
- iluminación de fondo de 50 000 horas de vida útil y no es posible sustituirla.
- Capacidad de datos de la pantalla de 512 KB
- Alimentación 24 VDC
- Consumo 7W máx.
- Interfaz RS-232C

La figura 10 muestra una vista frontal de HMI Omron.

Figura 10*NT21-ST121-E Omron*

Tomado de: (WIAUTOMATION, 2020).

4.1.4 Evaluación técnica del equipo

Durante la evaluación técnica del mal funcionamiento de la autoclave por el controlador, se hallaron otras fallas de menor índole, por ejemplo:

- a) El PLC Omron presenta fallas en la tarjeta principal. Produciendo paquetes no estériles, según se comprueba con los indicadores biológicos de esterilizado y en algunas ocasiones “aborto de proceso” sin razón.
- b) Se encontró que el sensor de presión tenía ciertas fallas de sensado, esto es debido a que ya había cumplido su tiempo de vida > 5 años, contando este con ya 20 años de funcionamiento desde su adquisición.
- c) Trampas de vapor desgastadas y sucias
- d) Filtro de aire desgastado
- e) Tuberías de vapor y cabina de la cámara con presencia de sarro

4.1.5 Estudio de pre-operatividad

Este estudio me permitirá conocer los factores ambientales de trabajo y verificar las condiciones iniciales de la autoclave. A continuación, se hará una descripción del sistema mecánico, neumático, eléctrico existente en la autoclave.

4.1.5.1 Sistema Neumático

El sistema neumático es alimentado con aire comprimido y consta de válvulas para controlar la apertura y cierre de la puerta (V27 y V28), las válvulas de ingreso de vapor a la chaqueta de la autoclave (V41), válvula de ingreso de vapor de la chaqueta a la cámara (V8), válvula de descarga de vapor (V20), válvulas para el vacío (V6 y V60), válvula para sellado, válvula para el ingreso de aire (V4) y liberación de la empaquetadura de la puerta (V10 y V11) tal como se muestra en la Figura 11 y 12.

Las dos primeras tienen una válvula de estrangulación y anti-retorno, esta para regular la velocidad con la cual se abrirá y cerrará la puerta.

Figura 11

Accionamiento de puerta

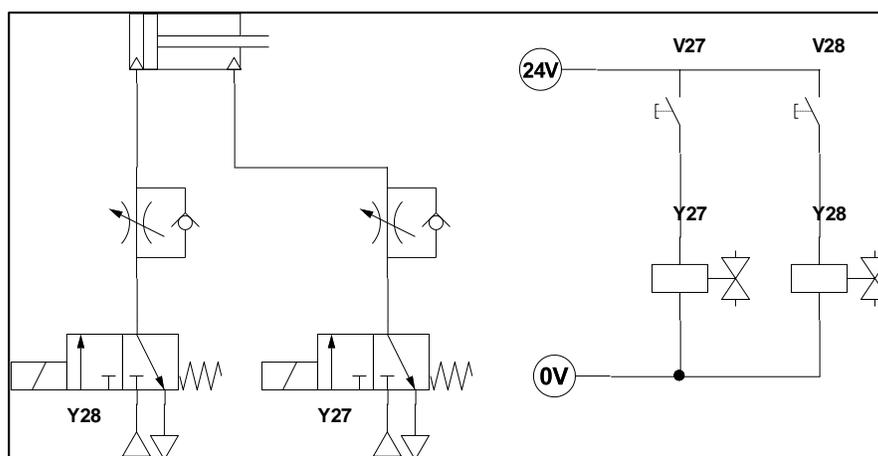
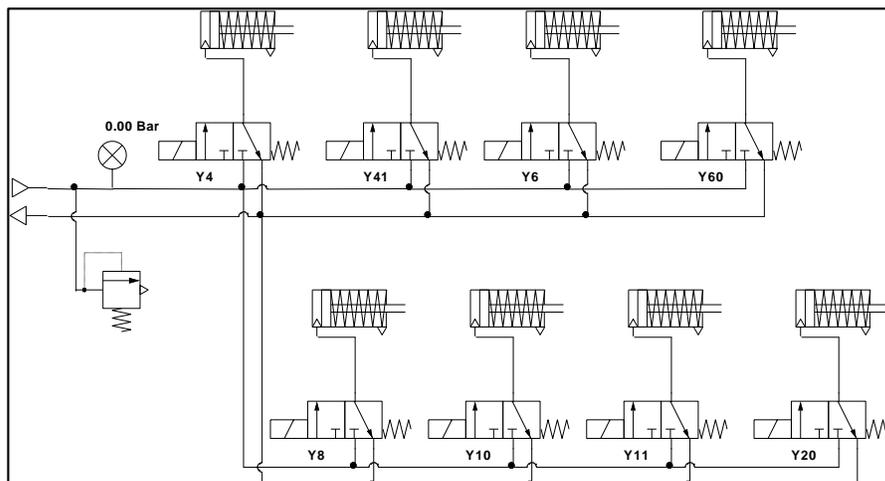


Figura 12*Neumática de actuadores*

4.1.5.2 Sistema Eléctrico

La distribución eléctrica de la Cisa 4210HB consta de alimentación trifásica para las bombas y alimentación monofásica, esta última es usada para fuente de alimentación de 24V, este voltaje es usada para la alimentación de: PLC, HMI y válvulas.

Durante el proceso la Figura 13 muestra demostrativamente la conexión eléctrica de la bomba de vacío y agua las cuales están conectadas al PLC.

- a) **Contactor:** Es un aparato de mando a distancia que puede cerrar o abrir circuitos, principalmente de motores. Está conformado por una bobina y unos contactos, la bobina es un electroimán que acciona los contactos cuando le llega corriente, abre los contactos cerrados y cierra los contactos abiertos. Cuando la bobina esta activa significa que el contacto está enclavado y en el momento en que deje de dar corriente la bobina volverá a su posición de reposo por la acción del muelle-resorte. En la Figura 14 se muestra el contactor empleado en este proyecto y su símbolo eléctrico.
- b) **Limitador de sobretensiones:** Protege al contactor de sobretensiones. Cuando ocurre la sobretensión, la impedancia cae al nivel mínimo, lo que permite la conducción de la corriente generada. Drena la energía de la sobretensión, sin embargo, mantiene una tensión en los polos del dispositivo y si esa tensión es

compatible con el nivel de inmunidad y del aislamiento del propio equipo, ello estará protegido. En la Figura 15 se muestra el limitador de sobretensiones empleado en este proyecto.

Figura 13

Activación del vacío

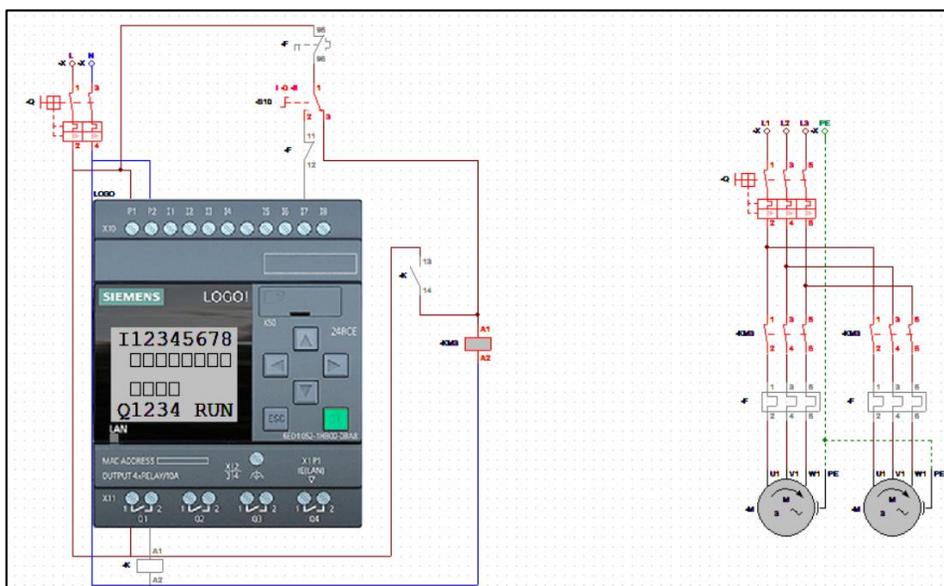
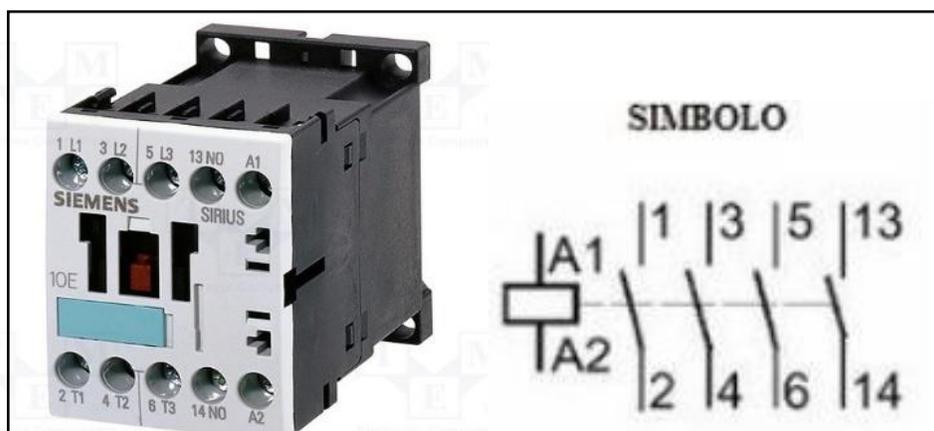


Figura 14

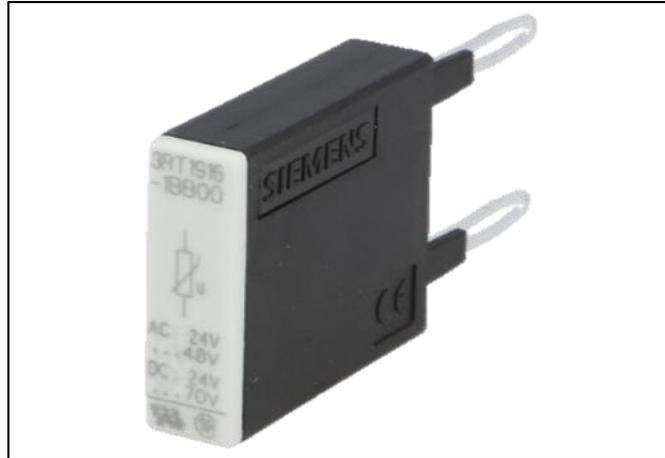
Contactora 3RT1024-1BE40 SIEMENS



Tomado de: (TME, 2021).

Figura 15

Limitador de sobretensiones 3RT1916-1BB00
SIEMENS

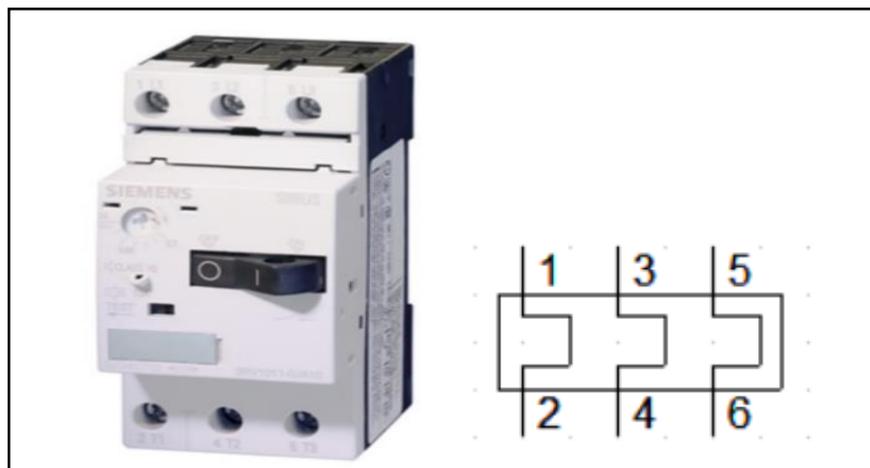


Tomado de: (TME, 2021).

- c) Relé térmico: También llamado guarda-motor. Es el dispositivo de protección del motor, actúa ante fallos de sobrecarga. En la Figura 16 se muestra el relé térmico siemens empleado en este proyecto y su símbolo eléctrico.

Figura 16

Térmico Siemens



Tomado de: (SUPPLYESV, 2017).

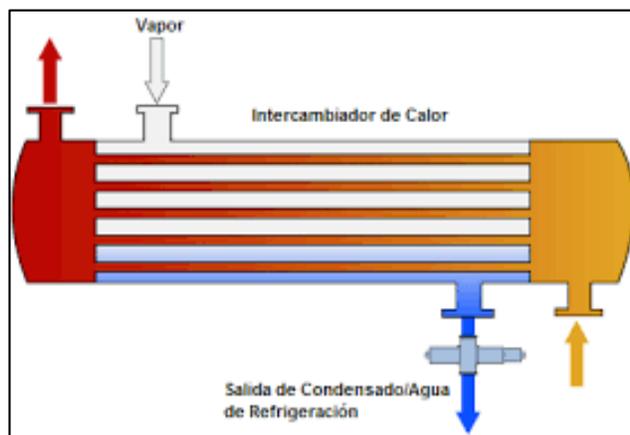
4.1.5.3 Sistema Mecánico

Las condiciones de trabajo del equipo determinan los accesorios a usar. Para el caso de una autoclave se tienen como elemento principal al vapor. A continuación, se describe los elementos más importantes.

- a) Intercambiador de calor: El intercambiador de calor tiene redes de tubos paralelos a través de las cuales fluyen agua a diferentes temperaturas como se muestra en la Figura 17. El contacto entre los fluidos permite hacer la transferencia de calor de una a otro, siendo la diferencia de temperatura entre los dos fluidos lo que permite el intercambio de calor. Cuando la autoclave está en etapas de vacío y secado, la válvula V6 se abre y se activa la bomba de vacío KM3 para extraer el vapor caliente de la cámara. Como intermediario entre la bomba de vacío y la válvula está el intercambiador de calor que enfriara el vapor por protección a la bomba y así desaguarlo al drenaje.

Figura 17

Intercambiador de calor



Tomado de: (SEITA S.A.S., 2021).

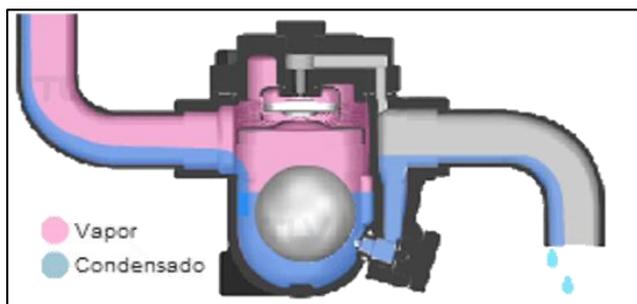
- b) Trampa de vapor: Son un tipo de válvula mecánica y autónoma que filtra el condensado de vapor sin dejar escapar el vapor. Esta es colocada entre las tuberías de drenaje. Se usan principalmente en tanques enchaquetados a vapor, el vapor genera calor y cuando este hace su trabajo el vapor se condensa, esta válvula de “alivio” permite la descarga de ese condensado sin dejar escapar el

vapor por lo cual el equipo puede seguir trabajando sin presentar alarmas de fuga de vapor como se muestra en la Figura 18. Las válvulas “normales” no cumplen efectivamente este trabajo pues cuando drenen el condensado es muy probable que también haya fugas de vapor.

- c) Bomba de vacío de anillo líquido: En esta tesis se presenta una bomba de vacío de anillo líquido para vapor. Su principal característica es que se refrigera y lubrica con agua. Cuando el agua se aleja del núcleo del rotor la bomba succiona y cuando se acerca expulsa el aire y vapor succionado antes junto con el agua de su alimentación inicial hacia el drenaje, tal como se muestra en la Figura 19.

Figura 18

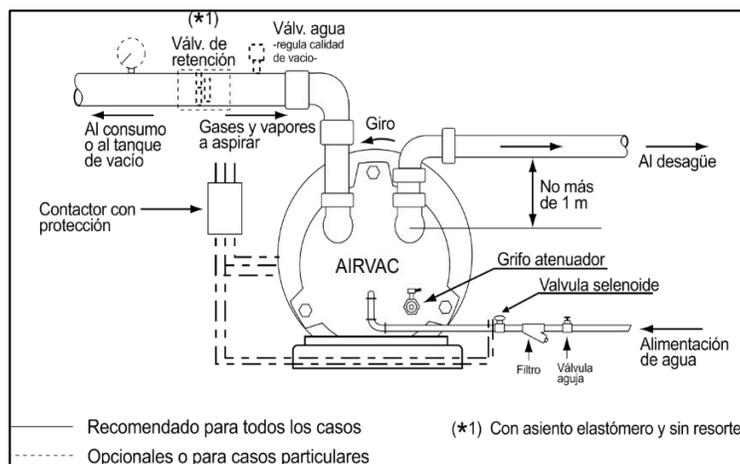
Trampa de vapor



Tomado de: (TLV, 2021).

Figura 19

Funcionamiento de Bomba de vacío de anillo líquido



Nota. Descripción de funcionamiento de Bomba de vacío.
Tomado de: (Airvac Technology SAS., 2017).

4.1.5.4 Condiciones ambientales

La instalación de la autoclave se encuentra en un ambiente estéril, libre de polvo, sellado herméticamente y con aire acondicionado como se muestra en la Figura 20. La zona de trabajo es de 1.5m x 1.5m.

Figura 20

Área de Trabajo de la autoclave



Nota. Visión general del área de trabajo en Central de Esterilización.

4.2 Diseño del automatismo

4.2.1 Modelamiento del sistema

Actualmente, existe una gran variedad de sistemas que pueden ser descritos usando un conjunto de ecuaciones diferenciales. Esta descripción matemática compleja se realiza aplicando las leyes de la física y de la química. Para construir un modelo adecuado para propósitos de control se requiere conocer bien la dinámica del sistema. (Rojas y Rodríguez , 2005)

El modelamiento matemático de la autoclave ayudaría a predecir el comportamiento del sistema. Para esta tesis se ha considerado tomar como referencia (De Amorim Terceiro, Da Fonseca Lopes, & Koiti Kuga, 2006) y (Viola Villamizar, Restrepo Agudelo, & Gómez, 2018) ,dichos autores hacen un análisis y modelamiento del comportamiento de la temperatura de la autoclave mediante una ecuación de tres polos.

En nuestra tesis se hace el estudio sobre una autoclave a vapor horizontal de 140L de una sola compuerta. Este dispositivo es alimentado por un caldero eléctrico que trabaja independientemente.

El proceso de esterilizado consta de varias etapas, entre ellos el más importante es el de calentamiento y esterilizado de la autoclave. Tomando como referencia De Amorim Terceiro, Da Fonseca Lopes, & Koiti Kuga (2006), a continuación, presentamos el modelo matemático del comportamiento de la temperatura de la autoclave durante el calentamiento y esterilizado. A continuación, se presenta la ecuación diferencial (1).

$$RC \frac{dT(\alpha)}{d\alpha} + T(\alpha) = T_{\infty} \quad (1)$$

Donde:

$T(\alpha)$ → es la temperatura interna del sistema

T_{∞} → Temperatura setpoint, con respecto a la temperatura del ambiente

- ∞ → Tiempo
 R → Resistencia térmica
 C → Capacitancia térmica

Considerando las condiciones iniciales nulas, la ecuación (1) es transformada al dominio de Laplace en (2).

$$T(s) = \frac{T_{\infty}}{RCs + 1} \cdot \frac{1}{s} \quad (2)$$

Para asemejar más a la realidad se añade un delay a la ecuación (2), obteniendo la ecuación (3). Sin embargo, este término puede ser convertido a un término más fácil de tratar, para ello usamos la aproximación de Pade, ver ecuación (4).

$$T(s) = \frac{T_{\infty}}{RCs + 1} \cdot \frac{e^{-s\tau}}{s} \quad (3)$$

$$T(s) = \frac{T_{\infty}}{RCs + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{2 - \tau s}{2 + \tau s} \quad (4)$$

Simplificando la ecuación (4) se obtiene la ecuación (5) que es la función de transferencia de tercer orden que representa el comportamiento de la temperatura de la autoclave.

$$T(s) = \frac{T_{\infty} (2 - \tau s)}{s(2 + \tau s)(RCs + 1)} \quad (5)$$

Es importante detallar que una autoclave es un sistema dinámico que depende de varios factores y que hace de este sistema bastante complejo de modelar o calcular las constantes propias del sistema. Ante este hecho, se consideró hacer solamente el análisis del comportamiento de la temperatura del sistema durante la etapa de calentamiento y esterilizado. En la publicación de Viola Villamizar, Restrepo Agudelo, & Gómez (2018), se logró calcular la función de transferencia del sistema en función a datos experimentales y al uso del software MATLAB, que nos ofrece la opción de hacer la estimación de modelos matemáticos en función a datos experimentales.

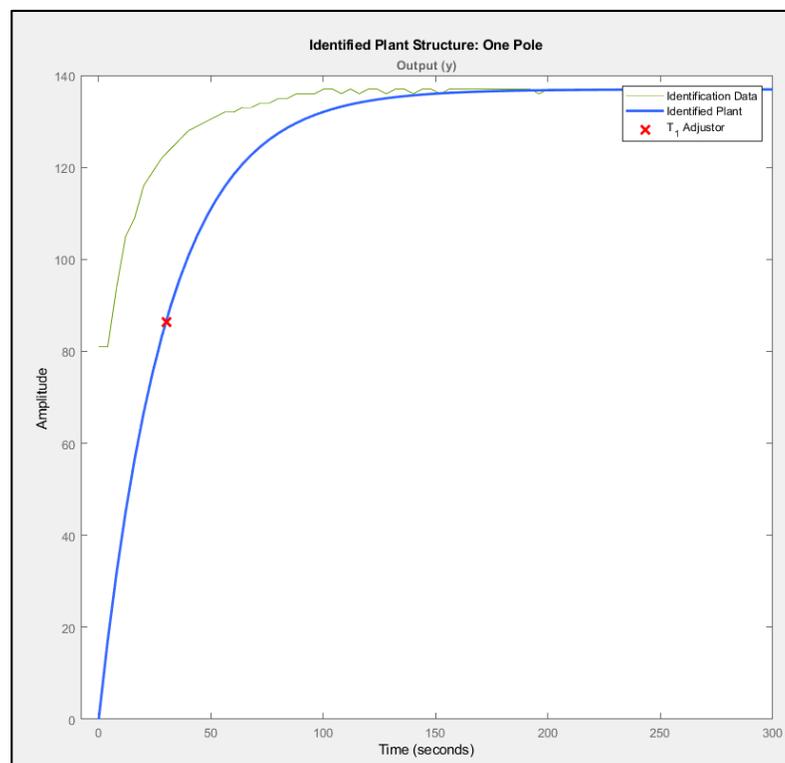
Para hacer el análisis con Matlab se hizo un análisis práctico, una respuesta al escalón del sistema, teniendo como entrada 80 psi de vapor del caldero externo y como valor deseado 134°C de temperatura interna de la cámara.

En el Anexo 2, se tiene los datos experimentales de temperatura de la cámara con respecto al tiempo, adquiridos de la autoclave por un tiempo de 5 min.

La data experimental es cargada en MATLAB. Luego se usa el toolkit PID tuner, el cual tiene la herramienta de estimación de planta. Esta herramienta de estimación de planta nos muestra la gráfica del comportamiento real del sistema (línea azul) y el modelo estimado por Matlab (línea verde) como se observa en la Figura 21.

Figura 21

Identificación de la planta en Matlab

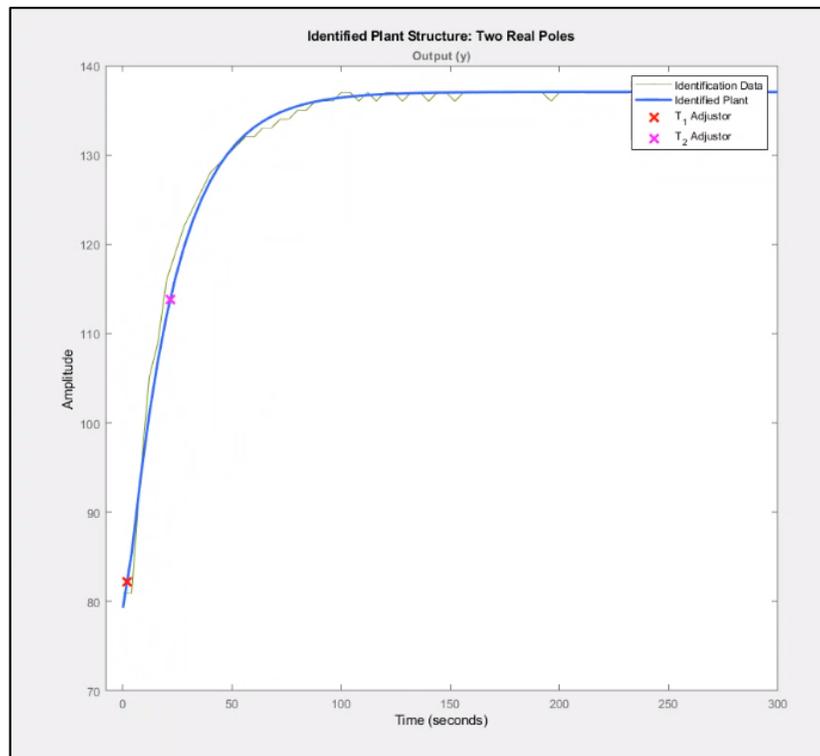


Nota. La línea verde es el modelo obtenido a través de mi Data ingresada, mientras que la línea azul es el modelo de la planta ajustado con un polo.

A continuación, se presenta el resultado del análisis de la data experimental de temperatura con respecto al tiempo de la autoclave. En la Figura 22, la línea verde representa a la data experimental y la línea azul representa al modelo matemático sintonizado manualmente.

Figura 22

Identificación de la planta con dos polos



Nota. La línea verde es el modelo obtenido a través de mi Data ingresada, mientras que la línea azul es el modelo de la planta ajustando manualmente dos polos.

Conseguida esta sintonización del modelo matemático, MATLAB nos genera automáticamente la función de transferencia de nuestra autoclave la cual representa el proceso de calentamiento y esterilizado, ver ecuación (6).

$$T(s) = \frac{137.05}{(1 + 1.915s)(21.745s + 1)} \quad (6)$$

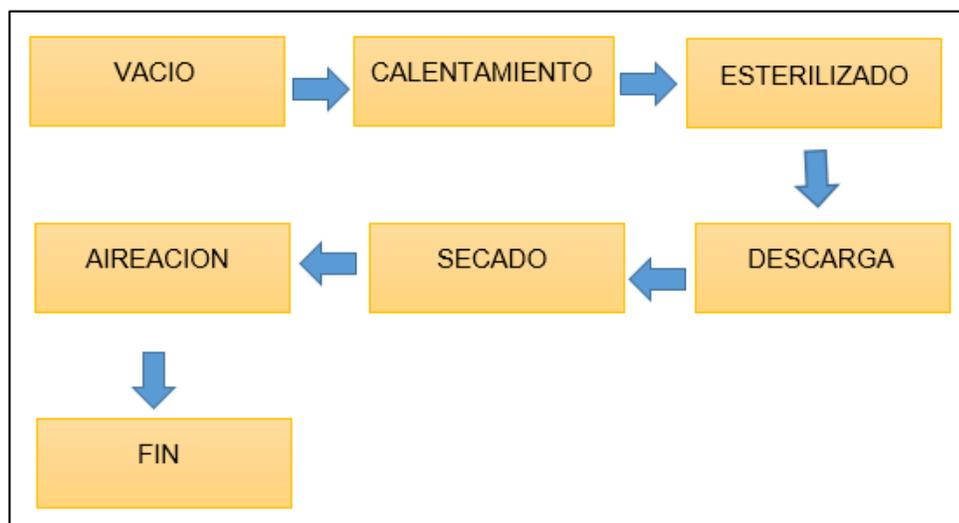
Se observa que la función de transferencia obtenida se asemeja al formato de la ecuación (2) que es el modelo teórico ideal, corroborando que es el modelo que mejor representa la dinámica real del sistema.

4.2.2 Proceso de esterilizado

El ciclo de proceso de esterilizado consta de 7 etapas progresivas y dependientes una de otra como se muestra en la Figura 23. Además, en la Figura 24 podemos ver el comportamiento de la temperatura y presión de la cámara a través de sus cuatro etapas principales.

Figura 23

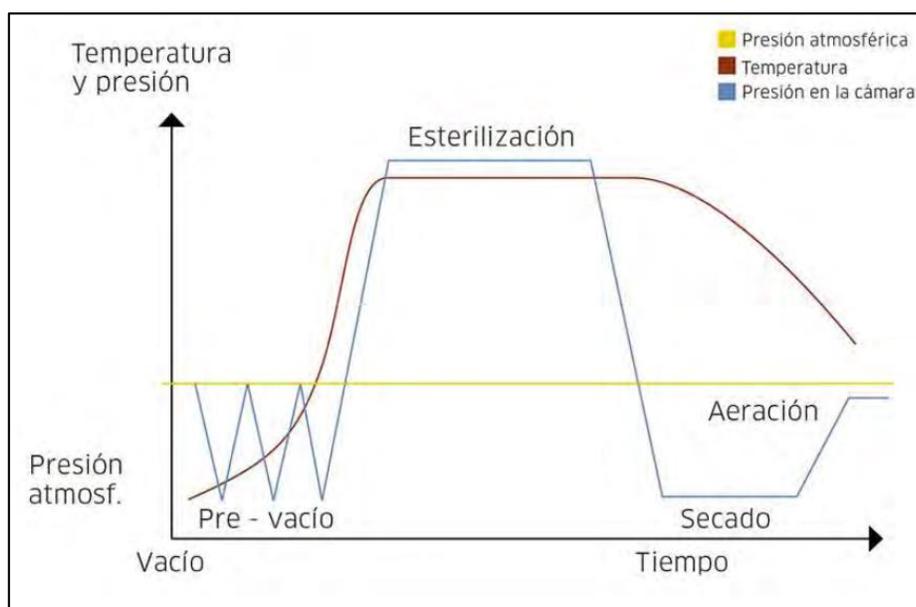
Proceso de esterilizado



Nota. Etapas de proceso determinadas según manual de fabricante Cisa (2001).

Figura 24

Grafica de presión y temperatura del proceso de esterilización



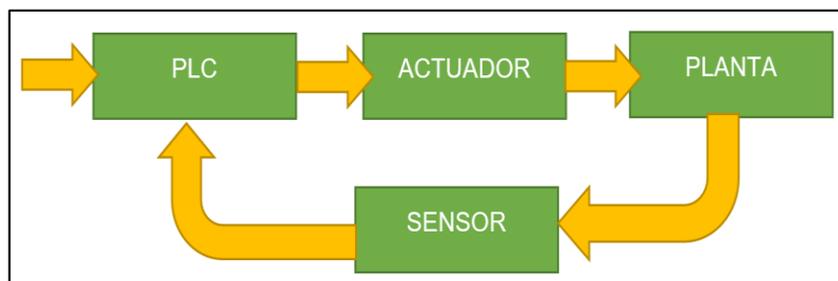
Nota. Etapas del proceso de esterilizado y comportamiento de Tiempo Vs. Presión y Temperatura. Tomado de: (Casilla y Reyna, 2016).

4.2.3 Control del proceso

De la Figura 25 se explica el control del proceso, este es un sistema de lazo cerrado y como realimentación se tienen al sensor de temperatura que censa la temperatura de la cámara. Esta señal es leída por el PLC el cual ordena a los actuadores abrirse o cerrarse y según los parámetros set point configurados por el usuario.

Figura 25

Sistema de control de autoclave

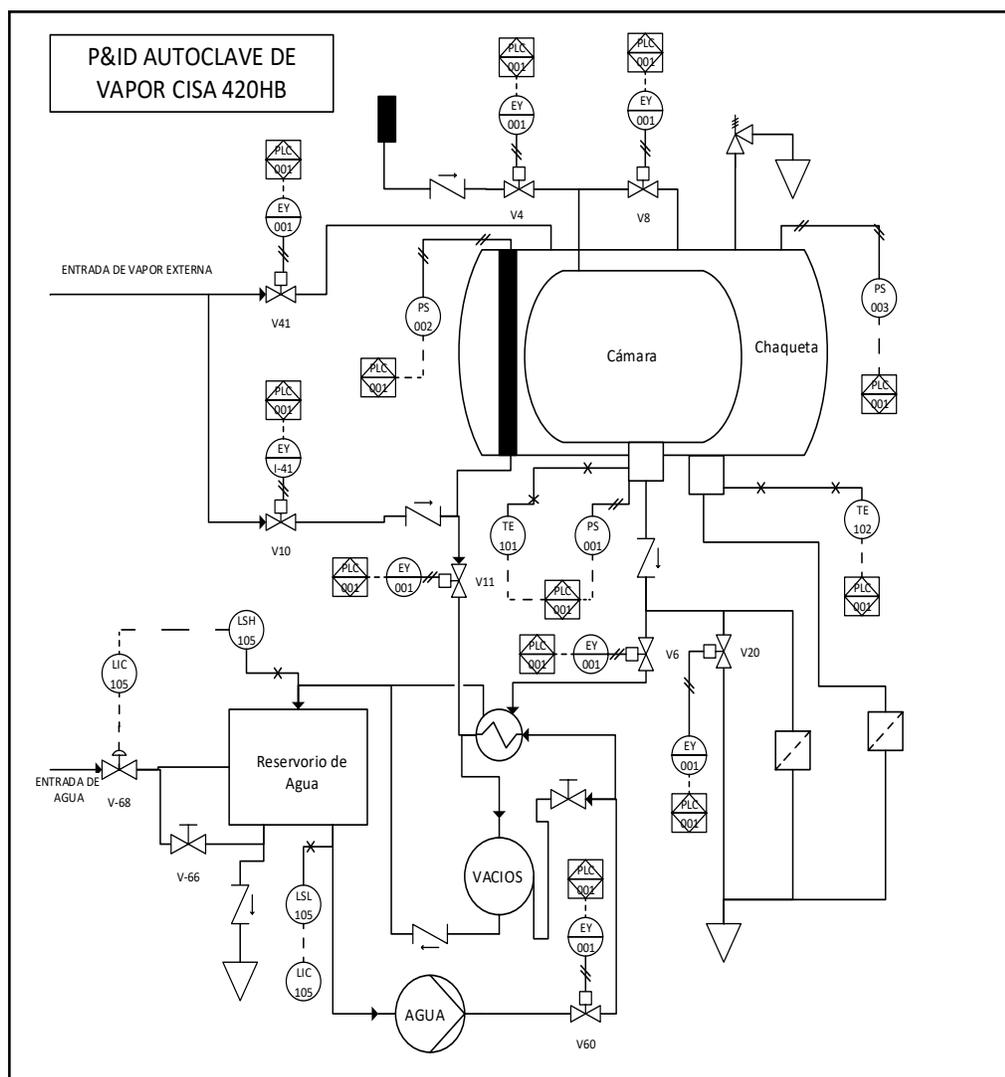


4.2.4 Plano P&ID

Como parte de estudio del funcionamiento, fue necesario la elaboración de un diagrama P&ID, ver Figura 26. Para este diseño se usó el manual técnico del equipo y principalmente se hizo una revisión técnica exhaustiva de la instrumentación y elementos mecánicos montados en la autoclave. Este diagrama P&ID nos permitió definir mejor las variables de entrada y salida y el flujo del proceso, lo cual fue necesario para la elaboración al algoritmo de control.

Figura 26

Diagrama P&ID de autoclave Cisa 42 10HB modificada



4.2.5 Variables para el PLC

4.2.5.1 Descripción de entradas al PLC

Los sensores y elementos de entrada que se conectan al PLC son mencionados a continuación:

- Botón “PARADA DE EMERGENCIA”.
- Botón “ON/OFF”.
- Sensor de temperatura PT100 para cámara.
- Sensor de temperatura PT100 para chaqueta.
- Presostato de vacío.
- Presostato de empaquetadura.
- Presostato de chaqueta.
- Sensor de fin de carrera de puerta.

Algunos elementos son entradas digitales que se ingresan desde la pantalla HMI

- Botón “INICIO DE PROCESO”.
- Botón de apertura de puerta.
- Botón de cerrado de puerta.

4.2.5.2 Descripción de salidas al PLC

Los actuadores y elementos que controla el PLC se mencionan a continuación:

- Habilitador de bomba de vacío y bomba dosificadora.
- Relés de válvulas neumáticas:
 - Válvula de apertura de puerta.
 - Válvula de cierre de puerta.
 - Válvula de ingreso de vapor a chaqueta.
 - Válvula de ingreso de vapor de chaqueta a cámara.

- Válvula de sellado de puerta.
- Válvula de liberación de sellado de puerta.
- Válvula de drenaje de vapor.
- Válvula de vacío.
- Válvula de dosificación de agua para bomba de vacío.
- Válvula de ingreso de aire a cámara.

4.2.6 Selección de equipos de automatización

Para la puesta en marcha de la autoclave CISA 4210HB se tuvo que reponer y/o cambiar los componentes que estaban en mal estado según evaluación técnica, para lo cual se tomaron determinados criterios de selección.

4.2.6.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

El PLC seleccionable deberá:

- Tener una memoria igual o mayor a 50Kbytes.
- Tener un sistema de gestión de datos.
- Comunicación Ethernet.
- Al menos 2 entradas analógicas RTD o Capacidad de expansión.
- Al menos 10 salidas relé.
- Al menos 8 entradas discretas.
- Batería incorporada.

4.2.6.2 Interfaz Humano Maquina (HMI)

La pantalla HMI que se escoja deberá ser compatible con el PLC seleccionado.

- Táctil.
- Retroiluminación LED.

- Alimentación VCC.
- Puerto ethernet.

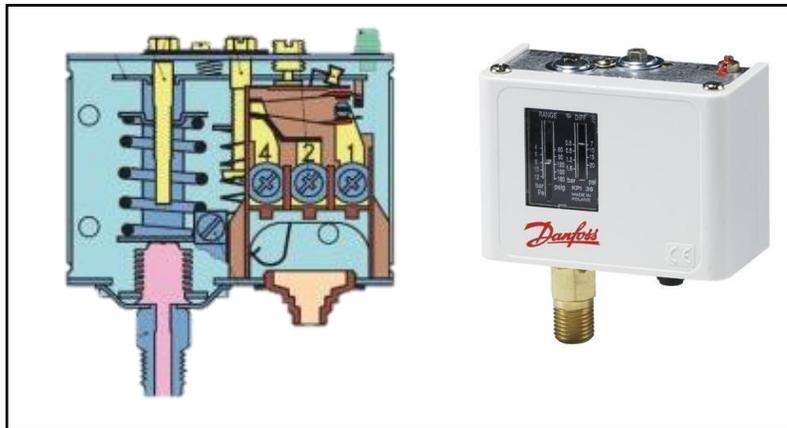
4.2.6.3 Presostato

Es un dispositivo electromecánico, también llamado switch o interruptor de presión y tiene la función de abrir o cerrar circuitos en función a la presión ajustada.

En la Figura 27 se muestra un presostato interna y externamente.

Figura 27

Presostato y visión interna



Nota. Con 4, 2, 1 se regula la presión de trabajo.

Las características deben ser:

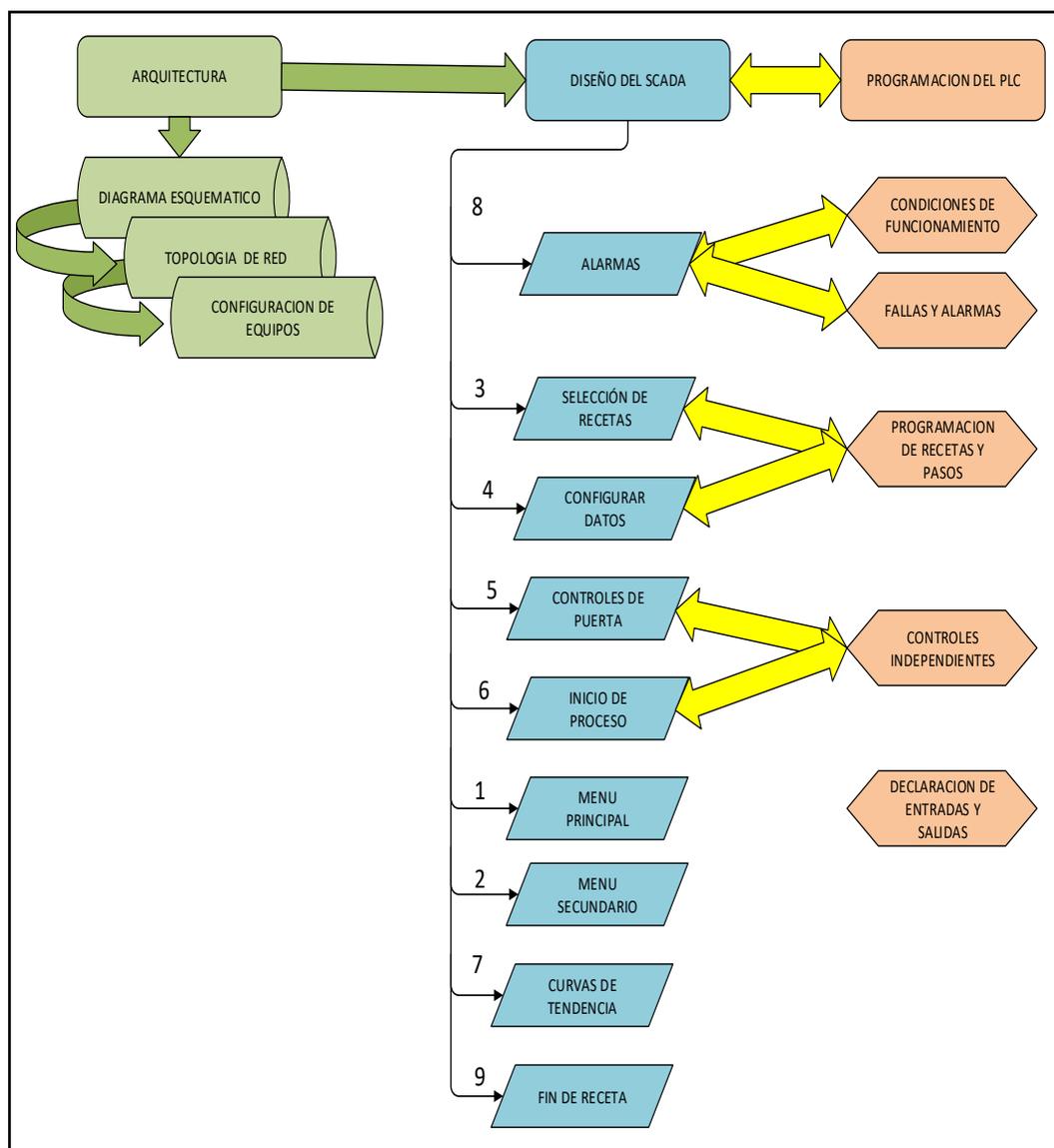
- Presostato de baja.
- IP 30 e IP44.
- Rango ajustable de -0.2 a 28 Bar.
- Fuelle enteramente soldado.

4.2.7 Arquitectura del proyecto

Para la ejecución de este proyecto se dividió en tres sub-partes, arquitectura (que comprende la parte administrativa del diseño), diseño de SCADA (supervisión y control del proceso) y programación a PLC (comprenderá la lógica de programación de las recetas). A continuación, se muestra la Figura 28 donde se observa la secuencia de diseño del proyecto.

Figura 28

Diagrama de secuencia del proyecto

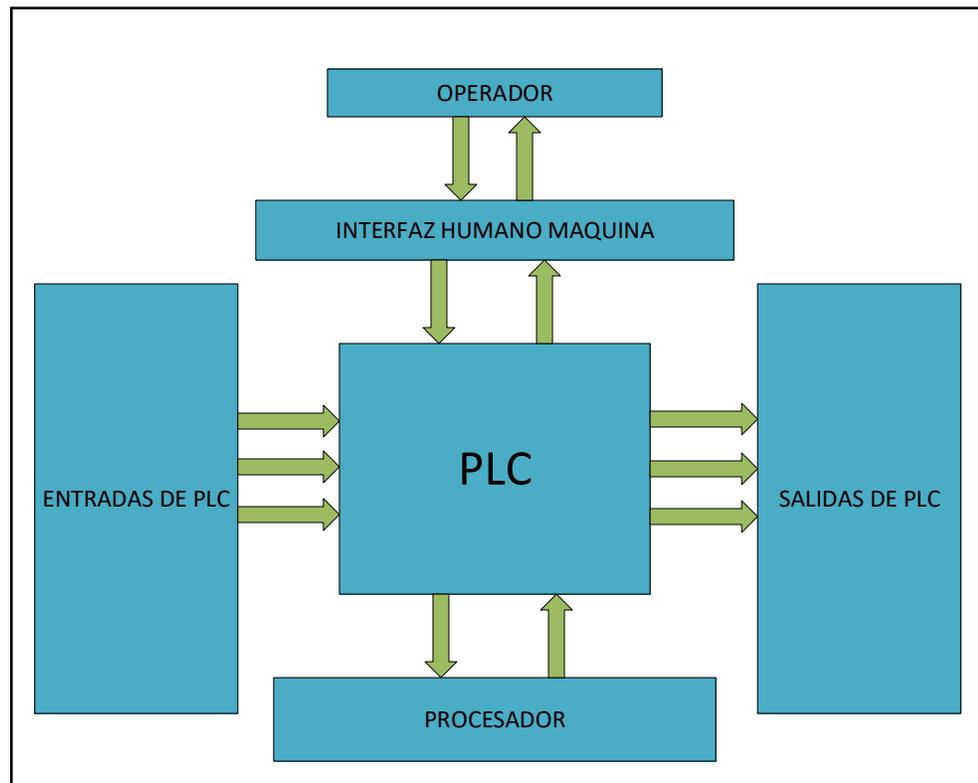


4.2.7.1 Arquitectura

- a) Diagrama de bloques del sistema: En la Figura 29 se muestra el diagrama de bloques de las principales partes del sistema de control y supervisión.

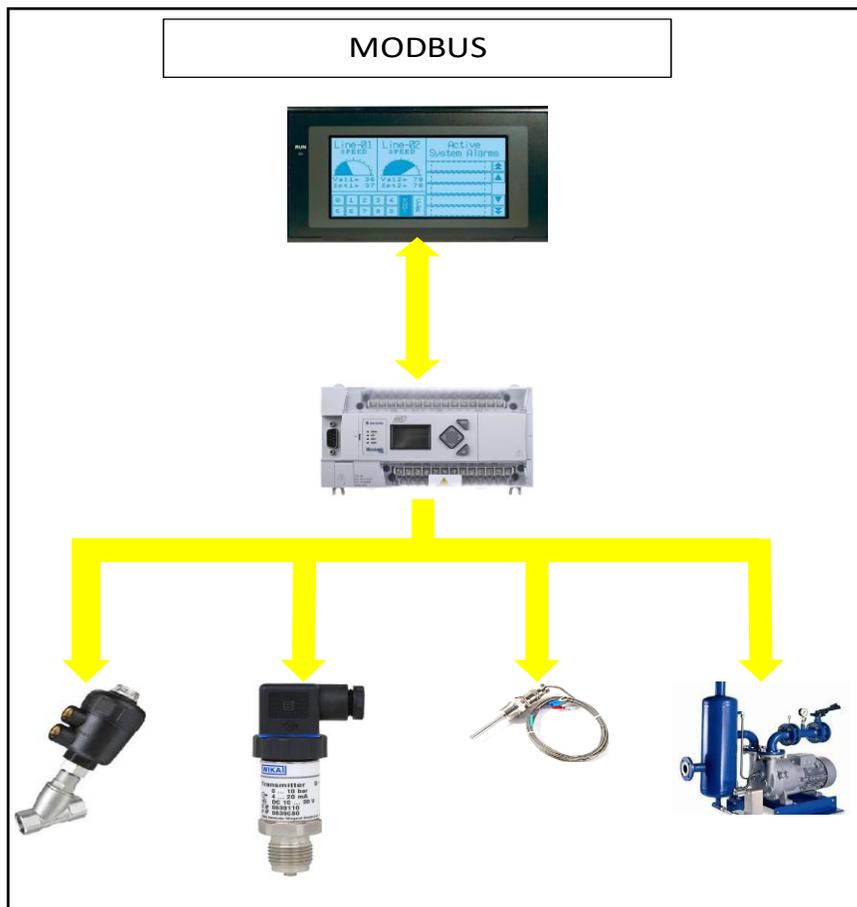
Figura 29

Diagrama de bloques del sistema de control y supervisión



- b) Topología de red: La autoclave Cisa tiene un sistema de control centralizado, donde el PLC es el controlador principal. La topología de diseño es tipo Bus, el protocolo de comunicación entre el PLC y HMI es ethernet. A continuación, observamos la Figura 30 con la comunicación del PLC y periféricos (sensores y actuadores) mediante topología bus.

Figura 30
Topología Bus Modbus



- c) Configuración de PLC: Se abre la aplicación RSWho y se conecta el PLC por serial a la PC, como se muestra en la Figura 31 la conexión ha sido exitosa. En la Figura 32 observamos que el PLC está listo para comunicarse con la aplicación de RSLogix500. La Figura 33 vemos cómo se puede comprobar abriendo la aplicación de RSLogix500 – configuración de canal - en Ch1. El módulo de entradas analógicas RTD 1762-IR4 se conecta al PLC Micrologix 1400, y en el RSLogix500 se selecciona dicho modulo como se muestra en la Figura 34.

Figura 31
Configuración RS-232

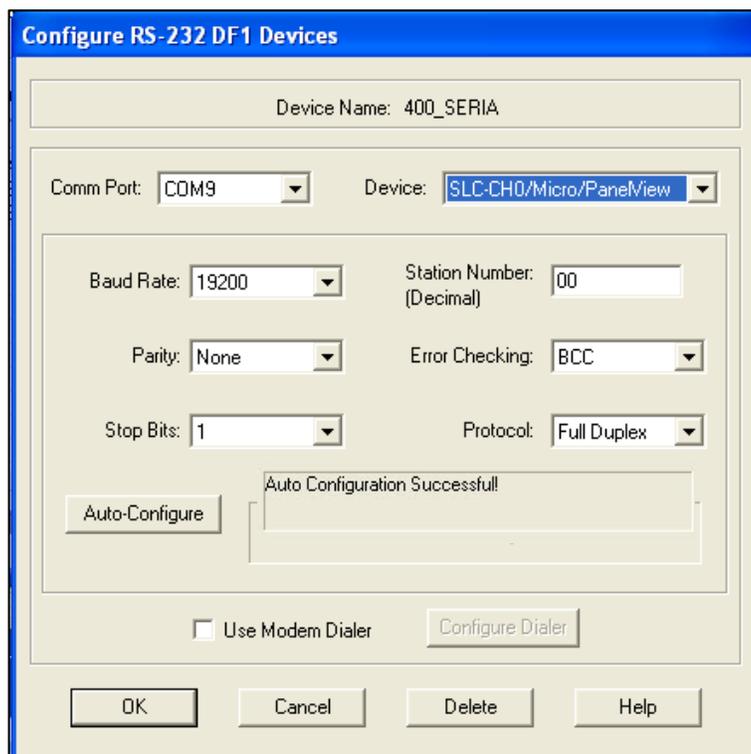


Figura 32
Visualización en RSWho

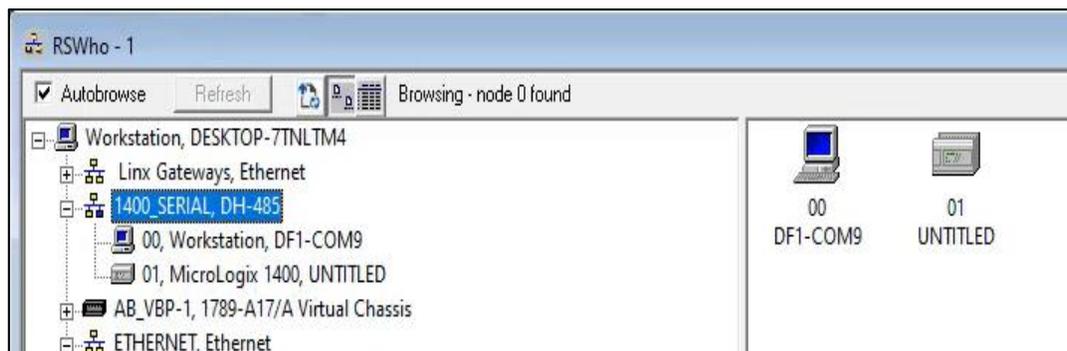


Figura 33

Verificación de conexión en RsLogix500

Channel Configuration

General | Channel 0 | Channel 1 | Channel 2

Driver: Ethernet

Hardware Address: F4:54:33:AC:FF:3E Network Link ID: 0

IP Address: 169 . 254 . 155 . 78

Subnet Mask: 255 . 255 . 0 . 0

Gateway Address: 0 . 0 . 0 . 0

Default Domain Name: User Provided Web Pages

Primary Name Server: 0 . 0 . 0 . 0 Starting Data File Number: 0

Secondary Name Server: 0 . 0 . 0 . 0 Number of Pages: 1

Protocol Control:

BOOTP Enable DHCP Enable Msg Connection Timeout (x 1mS): 15000

SNMP Server Enable SMTP Client Enable Msg Reply Timeout (x 1mS): 3000

HTTP Server Enable Inactivity Timeout (x Min): 30

Auto Negotiate

Port Setting: 10/100 Mbps Full Duplex/Half Duplex

Contact: Location:

Aceptar Cancelar Aplicar Ayuda

Figura 34

Selección de Modulo RTD

I/O Configuration

Read IO Config

PowerSupply...

#	Part #	Description
0	Bul.1766	MicroLogix 1400 Series A
1	1762-IR4	4-Channel RTD/Resistance Input Module
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Current Cards Available

Filter: All I/O

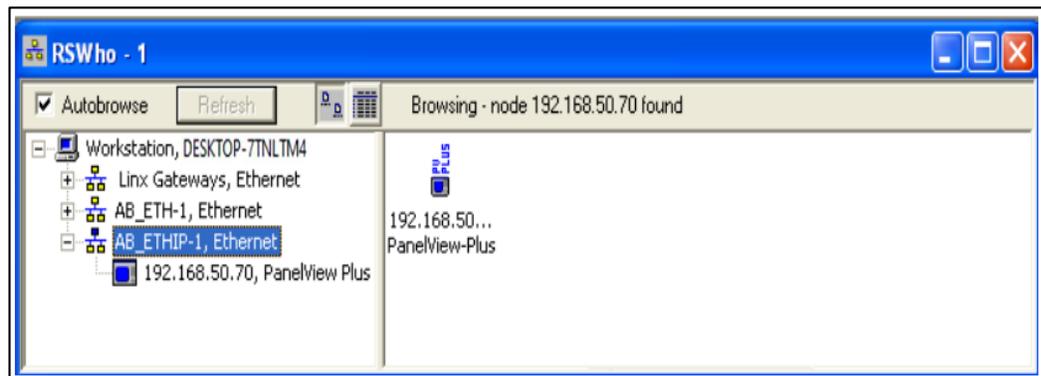
Part #	Description
1762-IA8	8-Input 79/132 VAC
1762-IF20F2	Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. Output
1762-IF4	Analog 4 Chan. Input
1762-IQ8	8-Input 10/30 VDC
1762-IQ80W6	8-Input 10/30 VDC 6-Output (RLY)
1762-IQ16	16-Input 10/30 VDC
1762-IQ32T	32-point 24Vdc (Sink/Source) Input
1762-OA8	8-Output 120/240 VAC
1762-OB8	8-Output (TRANS-SRC) 10/50 VDC
1762-OB16	16-Output (TRANS-SRC) 10/50 VDC
1762-OB32T	32-point 24Vdc (Trans-Source) output
1762-OV32T	32-point 24Vdc(Trans-Sink) output
1762-DW8	8-Output Relay
1762-DW16	16-Output (RLY) 240 VAC
1762-IT4	4-Channel Thermocouple Input Module
1762-IR4	4-Channel RTD/Resistance Input Module
1762-DF4	4-Channel Analog I/V Output Module
1762-DX8I	6-Ch High Current Isolated Relay Outputs
Other --	Requires I/O Card Type ID

Adv Config Help Hide All Cards

- d) Configuración de HMI: La comunicación es vía Ethernet. Primero identificamos el HMI en el software RSLINX y lo comunicamos vía Ethernet como se muestra en la Figura 35.

Figura 35

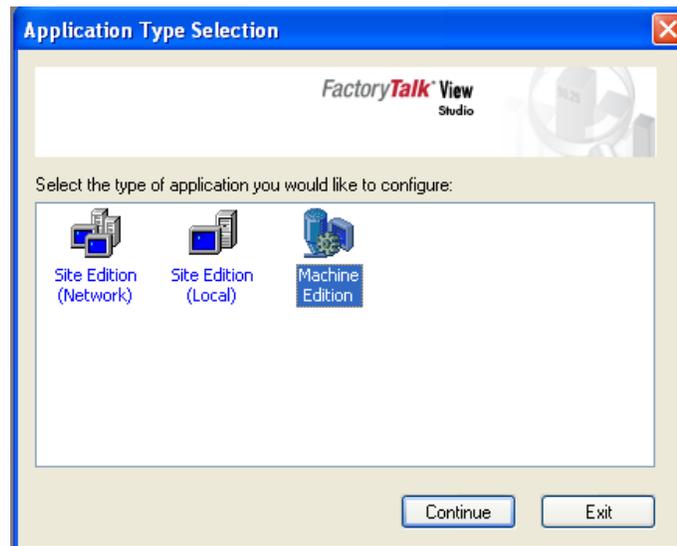
Configuración de HMI en RSLinx



Para la configuración primero se abre la aplicación de Factory Talk View, como se muestra en la Figura 36. Factory Talk View nos ofrece tres modos de programación para HMI: Site Edition (Network), Site Edition (Local) y Machine Edition. Para este proyecto seleccionamos la última porque nuestro objetivo es poder controlarlo desde un HMI montado en campo.

Figura 36

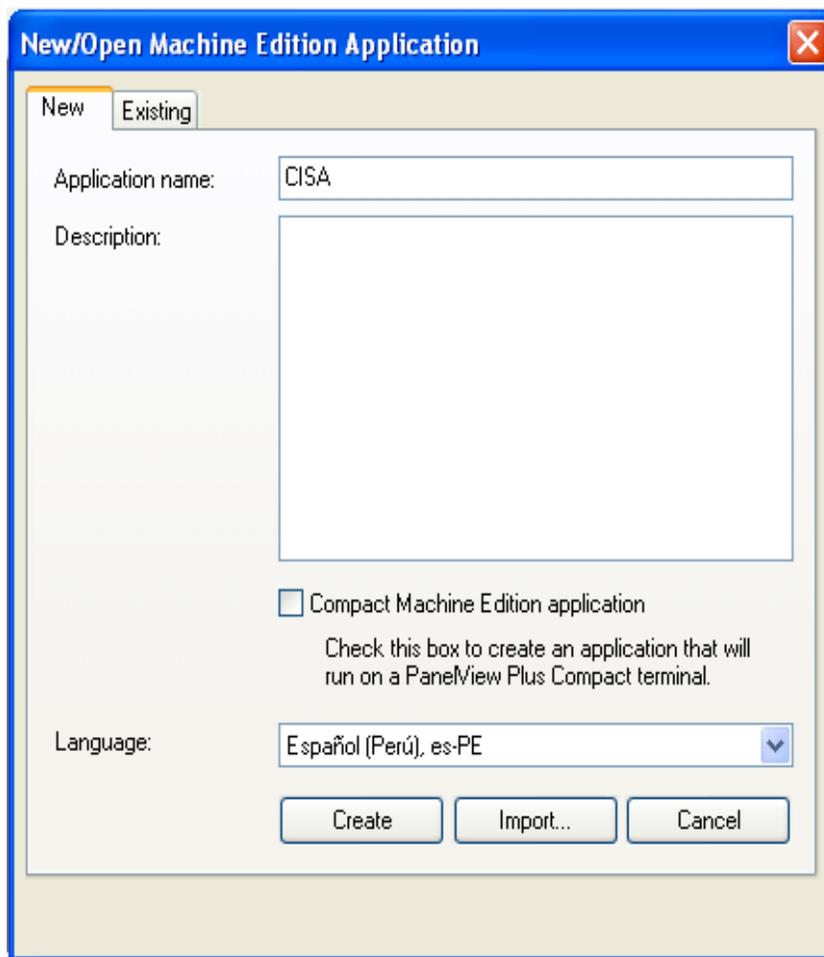
Selección de aplicación HMI



Creamos un nuevo proyecto como se muestra en la Figura 37 y seleccionamos el tipo de pantalla.

Figura 37

Nuevo Proyecto



Enlazo el PLC e importo las variables del RSLogix500 como se muestra en la Figura 38 y 39.

Posteriormente en la aplicación de Factory Talk View se crea un servidor OPC como se muestra en la Figura 40, importando así las variables de RSLogix500. (Nikolay, 2019)

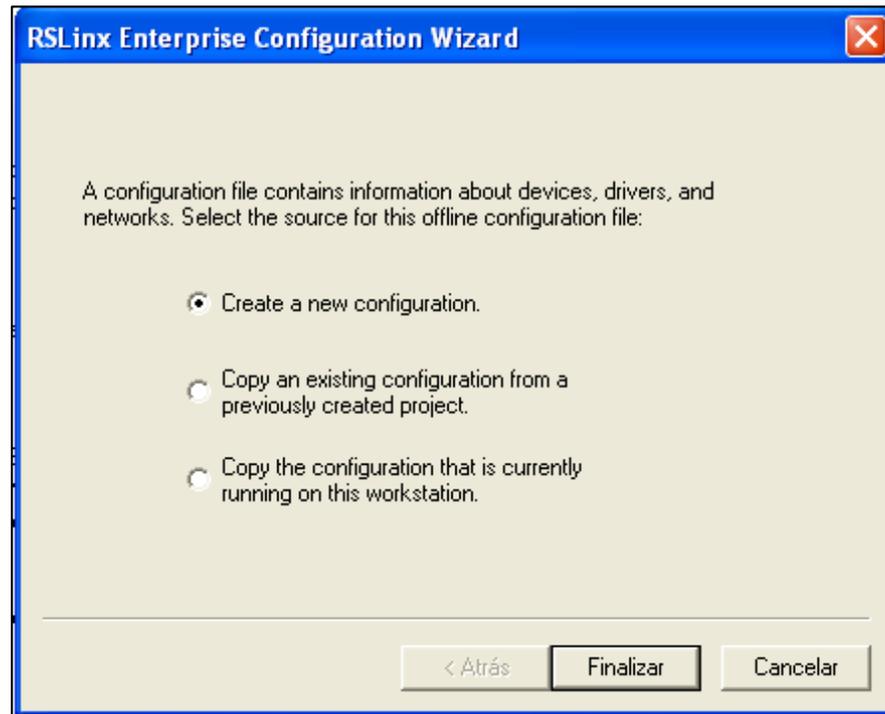
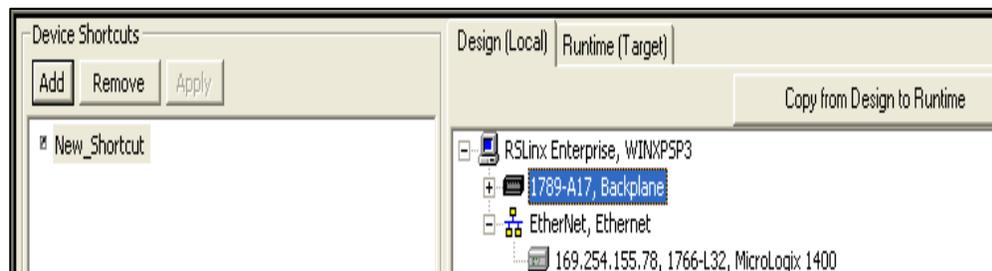
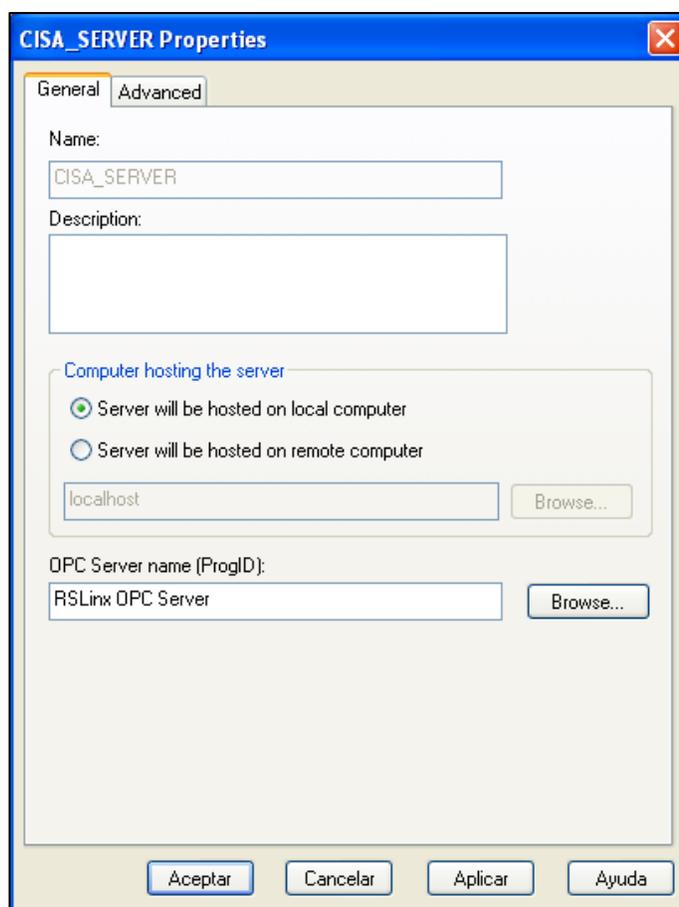
Figura 38*Configuración Rslinx-HMI***Figura 39***Comunicación de PLC en Factory Talk View*

Figura 40
Creación de servidor OPC



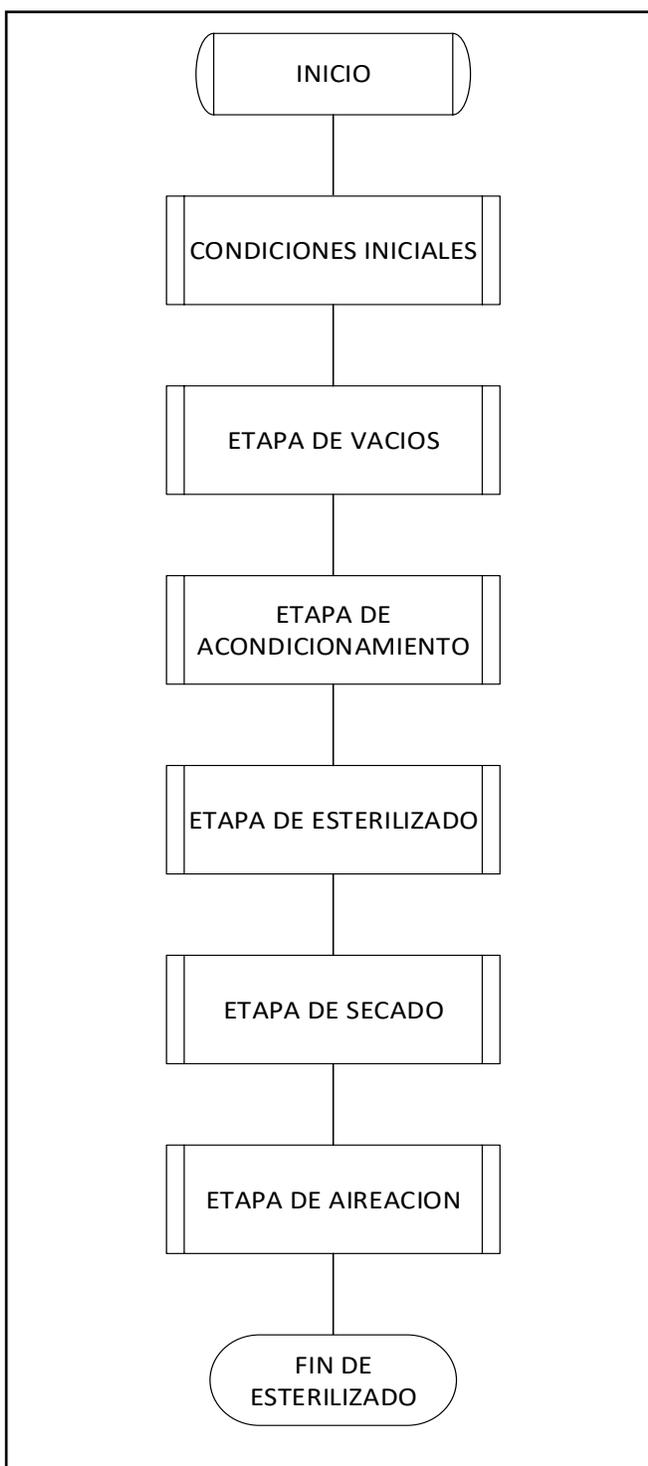
4.2.7.2 Diagrama de flujo de proceso de un esterilizado

El proceso de esterilizado se realiza en una autoclave, este equipo ejecuta el proceso de esterilizado de forma automática teniendo recetas prediseñadas, para ello debe suministrarse de energía eléctrica, agua, aire y vapor con el fin de cumplir el objetivo de un material estéril.

A continuación, la Figura 41 muestra el diagrama de flujo del proceso, para entender mejor el funcionamiento del sistema.

Figura 41

Diagrama de bloques de proceso de esterilizado



4.2.7.3 Diagrama de flujo del algoritmo de control

Según la estructura de control del sistema mostrada en la sección anterior es posible encontrar un algoritmo para el control automático del proceso de esterilizado, usando un control ON-OFF y teniendo una secuencia definida y secciones, a continuación, mostraremos cada sección a detalle.

- a) Inicio: una vez encendido el equipo por defecto deja pasar vapor del caldero a la chaqueta hasta una presión de 3Bar y es controlado por un presostato. En esta etapa se evalúan las condiciones iniciales, tales como:
- La parada de emergencia debe estar inactiva
 - El presostato de la chaqueta debe estar activo, lo que indica que hay vapor en la chaqueta
 - La puerta debe estar cerrada, el sensor de fin de carrera del pistón de la puerta está activo
 - El proceso debe estar seleccionado
 - Ninguna de las válvulas debe estar activa

Esta etapa termina cuando se cierra herméticamente la empaquetadura de la puerta. La Figura 42 muestra el diagrama de bloques de la etapa *Inicio*.

- b) Etapa de vacíos: en esta etapa se remueven todo el aire dentro de la cámara con ayuda de una bomba de vacío que extrae este aire por la parte baja de la cámara hasta alcanzar una presión de -0.4 Bar luego se deja ingresar vapor hasta alcanzar 0.9Bar, este paso se repite 4 veces en las recetas prediseñadas y es programable en otra manualmente. Para regular este vacío se usa un presostato programado en el rango de -0.4 Bar a 0.9 Bar. La Figura 43 muestra el diagrama de bloques de la etapa *Vacío*.
- c) Etapa de esterilizado: la etapa de esterilizado regula los niveles de tiempo y temperatura para obtener un material estéril. Una vez establecida la temperatura. La Figura 44 muestra el diagrama de bloques de la etapa *Esterilizado*.

Figura 42

Inicio de proceso

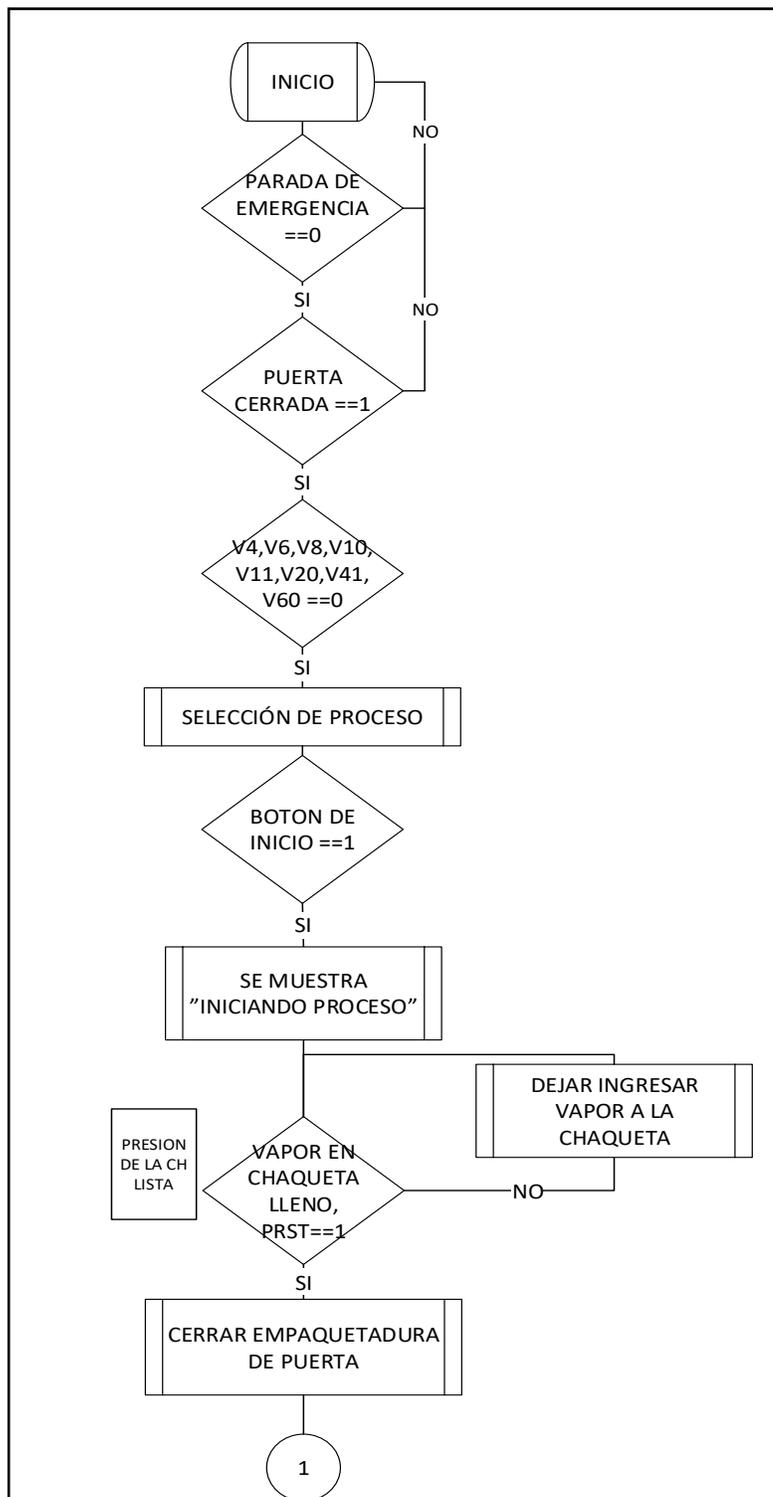


Figura 43

Etapa de vacío

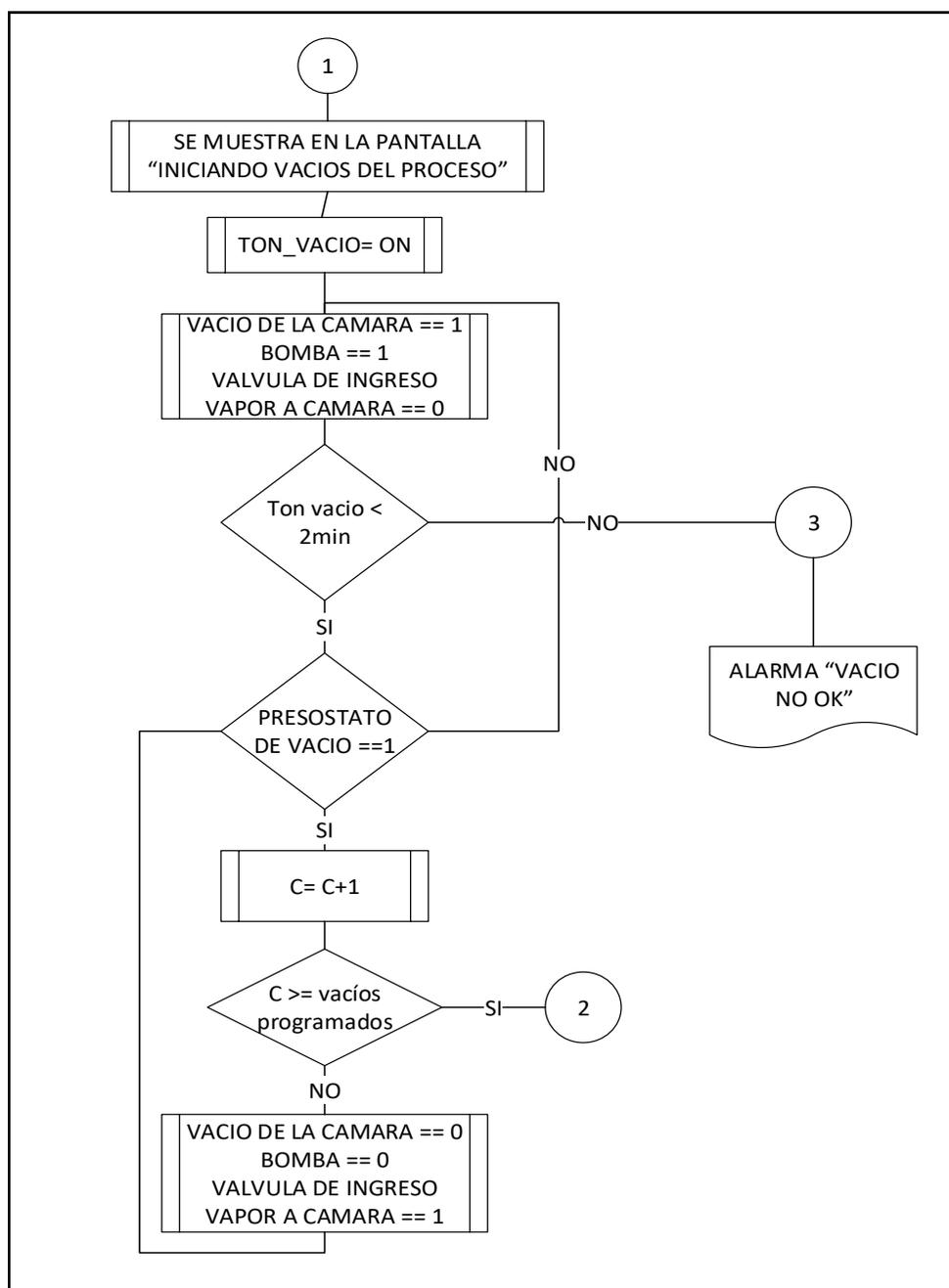
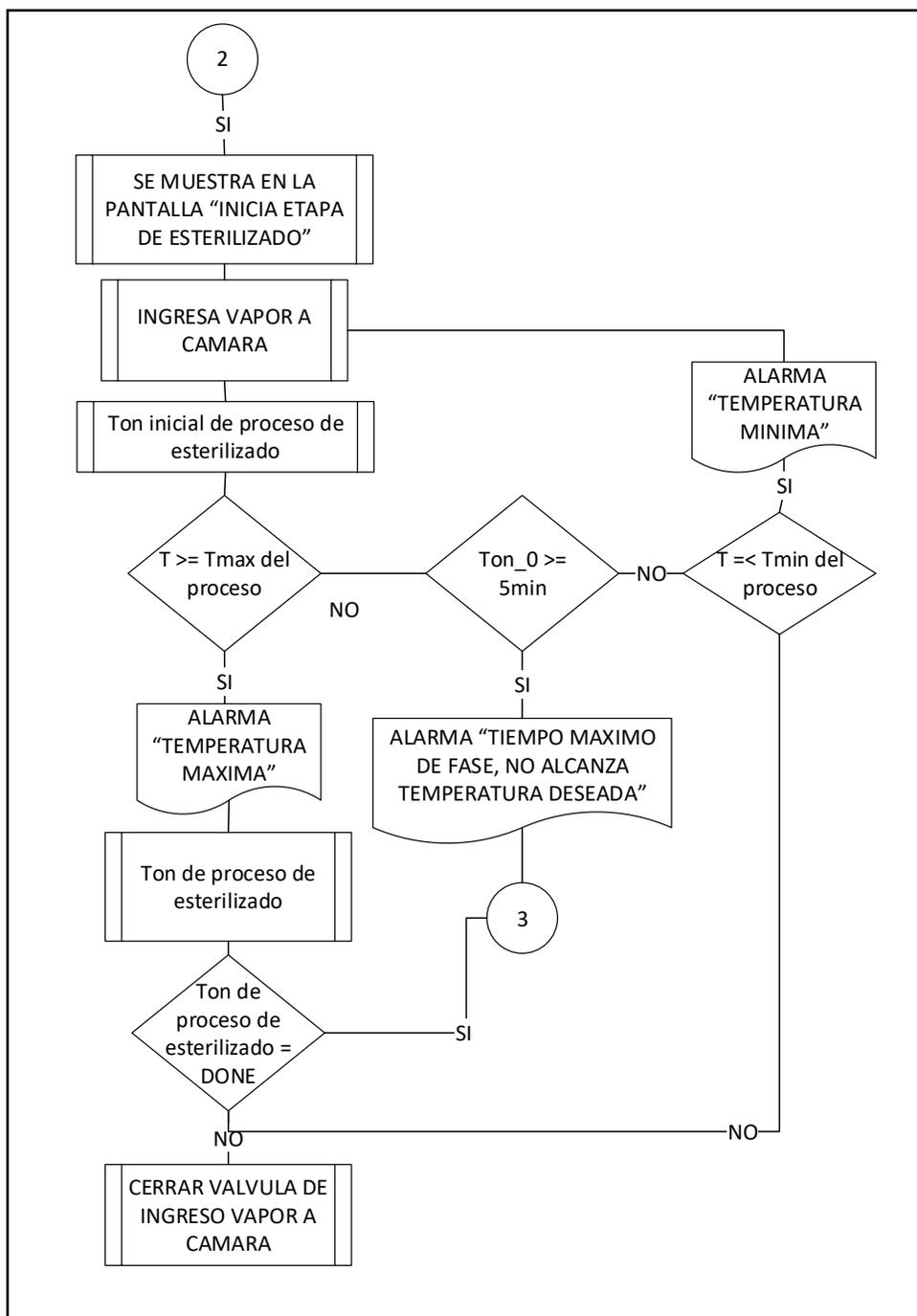


Figura 44

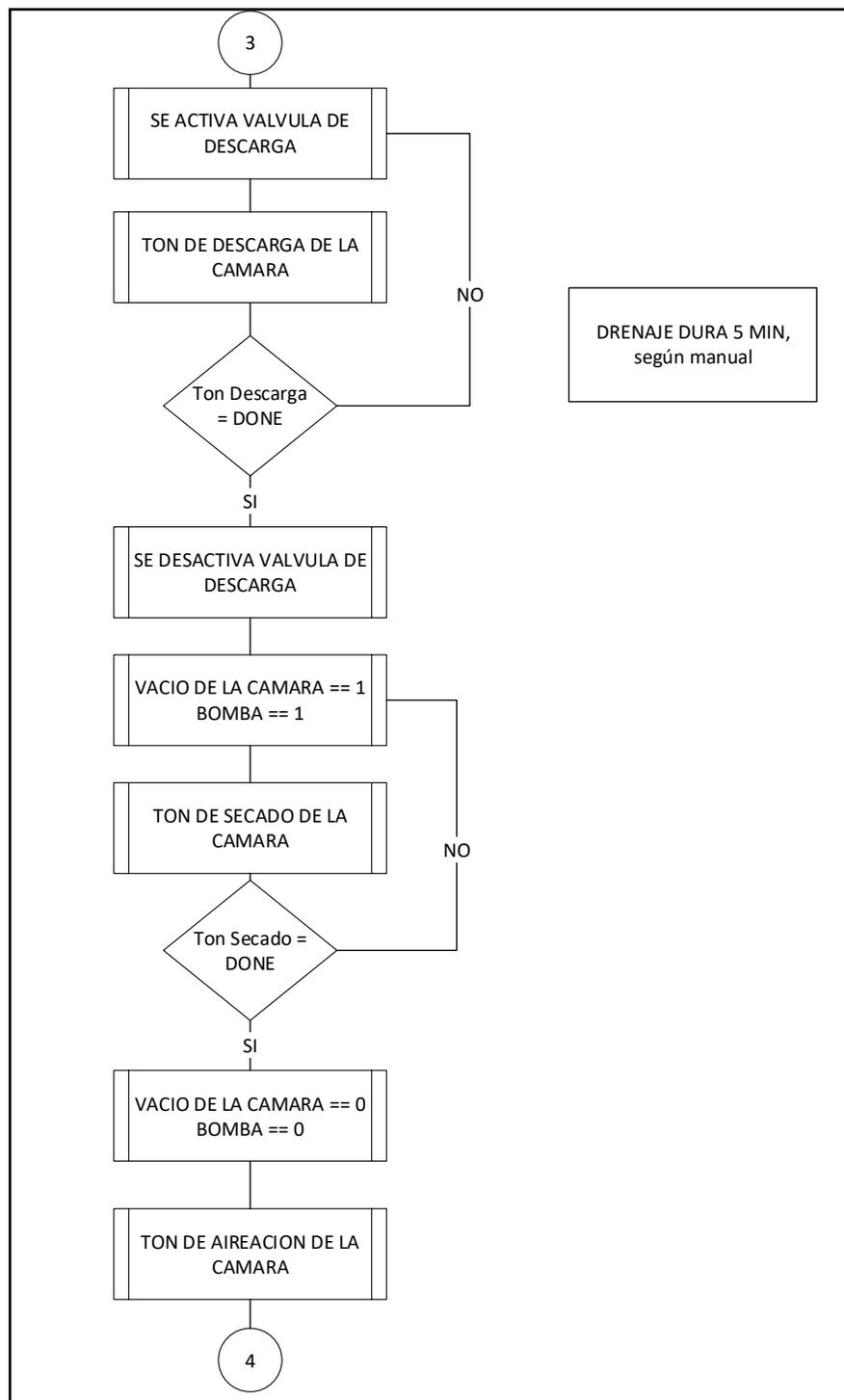
Etapa de esterilizado



- d) Etapa de secado: la etapa de secado activa la bomba de vacío extrayendo todo el vapor de la cámara y del material estéril. Como consecuencia el material queda seco. La Figura 45 muestra el diagrama de bloques de la etapa *Secado*.

Figura 45

Etapa de secado

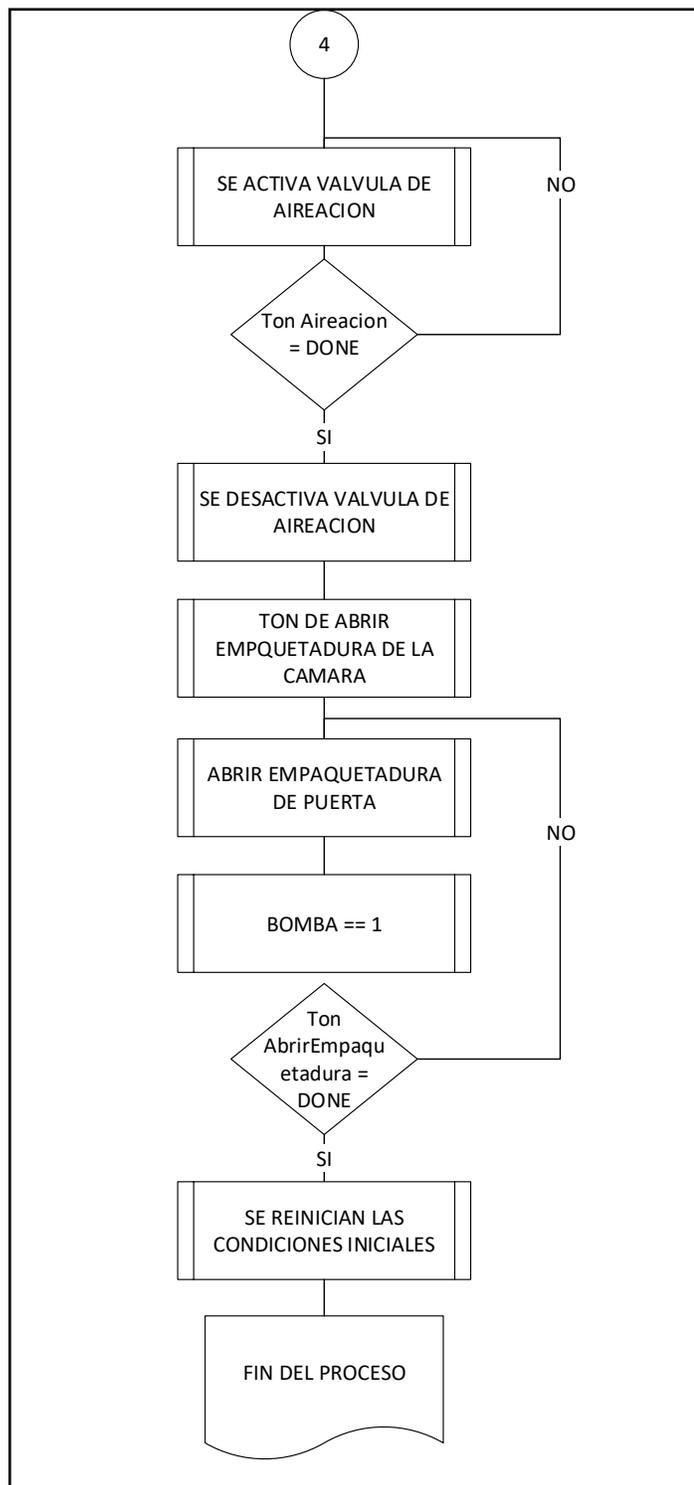


- e) Etapa de aireación: En la etapa de aireación se deja ingresar aire para igualar las presiones y bajar la temperatura de la cámara hasta una temperatura ambiente.

Logrado esto se abre la puerta y se reinician las condiciones iniciales. La Figura 46 muestra el diagrama de bloques de la etapa Aireación.

Figura 46

Etapa de aireación



4.2.7.4 Programación del PLC

a) Declaración de entradas y salidas

El proceso cuenta con

- 02 entradas analógicas RTD
- 06 entradas digitales
- 10 salidas digitales

Las entradas y salidas ya se declararon en el título 4.2.1 B y C.

b) Fallas y alarmas

A continuación, la Tabla 4 y 5 describe las alarmas y fallas para el sistema basadas en el manual del fabricante Cisa (2021).

Tabla 4

Alarmas del sistema

ALARMAS	Descripción
Puerta abierta	El sensor de fin de carrera indica que la puerta está abierta o mal cerrada
Tiempo máximo de Fase	Excedió el tiempo estimado de preparación para etapa de esterilizado
No alcanza temperatura deseada	No alcanza la temperatura programada para el proceso seleccionado
Temperatura máxima	Esta alarma ocurre en la fase de esterilizado, cuando la temperatura de la cámara excede la máxima permitida (+3°)
Temperatura mínima	Esta alarma ocurre en la fase de esterilizado, cuando la temperatura de la cámara excede la mínima permitida (-3°)

Tomado de: (CISA, 2001).

Tabla 4 (continuación)*Alarmas del sistema*

ALARMAS	Descripción
Vacío no OK	Excedió el tiempo de vacío estimado en Etapa de vacío
Ciclo abortado	Esta alarma aparece cuando el ciclo es cancelado usando el procedimiento vía touch screen o no cumple ciertas condiciones del proceso.
Temperatura de emergencia	Aparece cuando la temperatura es mayor igual a 140°

Tomado de: (CISA, 2001).

Tabla 5

Fallas y causas del sistema

FALLA	Causa probable	Acciones recomendadas
La camisa no presuriza	Falla en la provisión de energía	Chequear el estado actual del interruptor del control remoto y sus respectivos contactos, los fusibles del cuadro eléctrico, dispositivos del nivel mínimo de agua (sino existen interruptores o resistores desconectados)
	Resistores del generador quemados	Chequear y/o sustituir
	Falta de aire comprimido	Chequear la llegada de aire en la red o en el compresor
Vacíos insuficientes	Falta de agua en la red	Chequear la entrada de agua en la red o en la bomba
	Válvula neumática V6 está activa	Limpiar el lugar o sustituir la válvula

Tomado de: (CISA, 2001).

Tabla 5 (continuación)

Fallas y causas del sistema

FALLA	Causa probable	Acciones recomendadas
Vacíos insuficientes	Bomba de agua no está funcionando	Revisar la bomba de agua, alimentación eléctrica o de agua
	Válvula V4 está activa	Revisar estado de la electroválvula V4
	Válvula V8 está activa	Revisar estado de la electroválvula V8
	El motor de la bomba de vacío está oscilando	Revisar bomba
	Empaquetadura de la puerta	Revisar la empaquetadura de la puerta, limpiarla y reacomodarla de ser necesario
Baja presión de vapor en la cámara	Falta de agua en el generador	Chequear el nivel
	Entrada de vapor a través de filtro de vapor de la cámara	Revisar y si fuera el caso ajustar girándolo lentamente
	Resistores del generador quemados	Chequear y/o sustituir
	Válvula neumática V20 está activa	Chequear y si fuera el caso sustituir
	Sonda de temperatura defectuosa	Chequear el uso, si estuviera partida sustituir
	Empaquetadura de la puerta	Revisar la empaquetadura de la puerta, limpiarla y reacomodarla de ser necesario

Tomado de: (CISA, 2001).

Tabla 5 (continuación)

Fallas y causas del sistema

FALLA	Causa probable	Acciones recomendadas
La bomba esta ruidosa en la fase de vacío	Válvula de la bomba anti cavitación obstruida o desregulada	Chequear y si fuera el caso limpiar y ajustar
	Fallo de agua en la red	Revisar la entrada de agua. LA AUTOCLAVE SIEMPRE SE USA CON AGUA
La bomba de vacío no inicia	Térmico QF1 de la bomba oscilando	Chuquear el motor, verificar que no esté trabado del rotor, si fuera necesario presionar el botón térmico restaurando los contactos.
La bomba de agua no inicia	Térmico QF2 de la bomba oscilando, motor quemado, bomba bloqueada	Restaurar los contactos presionando el botón térmico o sustituir el fusible
Test Bowie&Dick insatisfactorio	Perdida de vacío	Revisar el drenaje de válvula condensadora RC9. Asegúrese de que no haya fuga del condensador y por eso la válvula parece obstruida
Residuos condensados en la cámara en el final del ciclo	Válvula condensadora de la cámara RC9 obstruida	Abrir y limpiar residuos como sarro. Revisar la calidad de agua que ingresa al caldero

Tomado de: (CISA, 2001).

- c) Programación de recetas y pasos: La selección de recetas se basó en los requerimientos mínimos del cliente:
- Proceso para instrumental
 - Proceso para material textil
 - Proceso para material jebes o gomas
 - Test de Bowie Dick

La programación del almacenado, selección y uso de las recetas y pasos de recetas con sus respectivos parámetros o funciones (temperatura, tiempo y la función autónoma).

d) Selección de recetas

La primera parte consiste en configurar las recetas que irán en el programa (número de vacíos, temperatura, tiempo de esterilizado y tiempo de secado) así como su confirmación o cancelación antes de iniciar el proceso como se muestra en el Anexo 3.

e) Programación de etapas de la esterilización

En el Anexo 4 se muestra la lógica de programación en ladder para: el control de las válvulas consideradas en este sistema.

Como se mencionó en el apartado “4.3.6.3”, para el control de las válvulas se considera un control ON-OFF que dependerá de la temperatura leída y el estado del presostato de vacío, para la etapa de esterilizado y vacío respectivamente.

f) Final del proceso y reseteo de variables

Cumplido todo el proceso es necesario que las variables se reseteen para el inicio de un nuevo ciclo de esterilizado, como se muestra en el Anexo 5.

4.2.7.5 Diseño del SCADA

a) Menú principal

El menú principal contiene las recetas, botones de control de la puerta y un botón hacia el área de mantenimiento. Así mismo un botón cancelar el cual permitirá cancelar la receta seleccionada antes de iniciado el proceso como se muestra en la Figura 47.

Figura 47*Menú principal HMI*

03/10/2021	PROCESOS DE ESTERILIZACION	04:48:19 p.m.
1. INSTRUMENTAL	5. USUARIO 1	ABRIR
2. TEXTILES	6. BOWIE DICK	CANCELAR
3. SILICONAS	7. PRUEBA DE VACIO	CERRAR
4. LIQUIDOS		
		MANTENIMIENTO

b) Receta programable

Solo existe una receta programable que es Usuario 1, con esta receta se puede configurar el número de vacíos, la temperatura, el tiempo de esterilizado y el tiempo de vacío como se muestra en la Figura 48.

Figura 48*Pantalla de usuario programable*

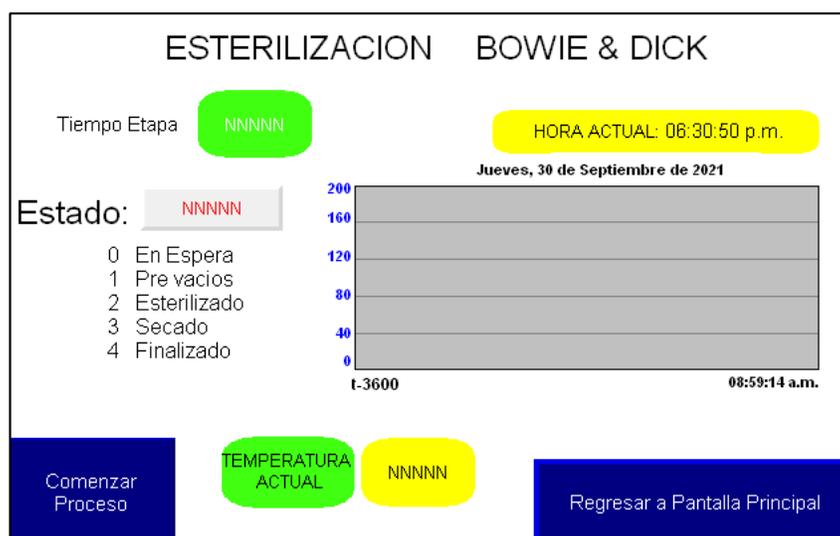
NUMERO DE VACIOS	####
TEMPERATURA	####
TIEMPO DE ESTERILIZADO	####
TIEMPO DE SECADO	####
TEMPERATURA CAMARA (°C)	NNNNN
MAIN	HECHO

c) Proceso

La Figura 49 muestra la pantalla de “proceso”, con esta supervisamos la secuencia del proceso escogido, el estado en cada etapa del proceso y una gráfica de “tendencias” que muestra las curvas de funcionamiento del proceso.

Figura 49

Pantalla de proceso



d) Mantenimiento

La pantalla de mantenimiento se muestra en la Figura 50, la cual servirá en caso se desee hacer el mantenimiento del equipo, activando manualmente cada relé desde la pantalla y también mostrará la secuencia del proceso durante su funcionamiento.

e) Alarma

La ventana alarmas muestra las alarmas predefinidas cargadas al programa, estas se mostrarán según cumplan o no las condiciones para las cuales fueron creadas.

En la Figura 51 se observa las diferentes alarmas programadas para este proyecto.

Figura 50

Pantalla de mantenimiento HMI

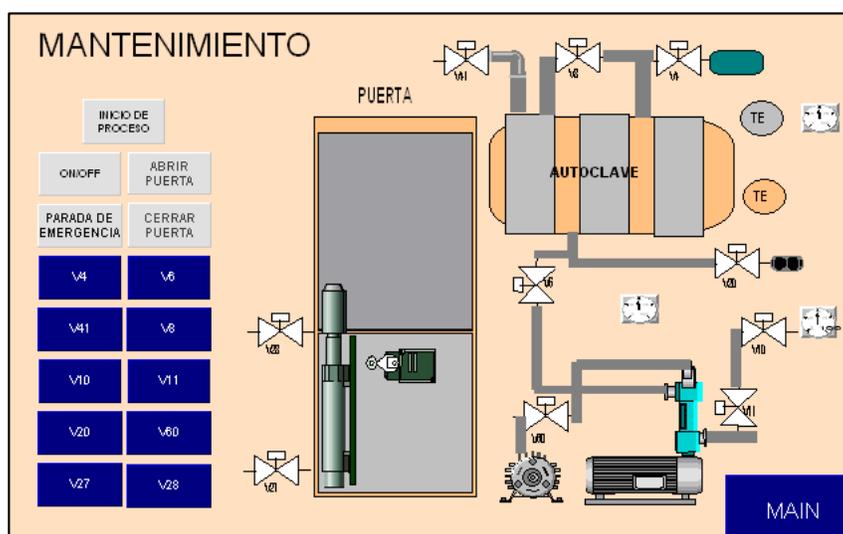


Figura 51

Ventana de alarmas

	Trigger	Trigger value	Message	Display	Audio	Print
1	::[CISA]B3:	1	ALARMA:TEMPERATURA 140°	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	::[CISA]F8:	1	TEMPERATURA MINIMA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	::[CISA]F8:	1	TEMPERATURA MAXIMA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	::[CISA]I:0:	1	PUERTA ABIERTA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	::[CISA]T4:	1	VACIO NO OK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	::[CISA]B3:	1	TIEMPO MAXIMO DE FASE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	::[CISA]B3:	1	CICLO ABORTADO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	::[CISA]B3:	1	NO ALCANZA TEMPERATURA DESEADA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<Unassigned			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Se cargó el programa al PLC y se iniciaron los procesos de esterilizado, primero se hizo el test de Bowie & Dick y posteriormente el proceso de esterilizado de instrumental. Con el fin de comparar y verificar el algoritmo cargado, los resultados verificarán si nuestro equipo se encuentra en óptimas condiciones y garantiza el esterilizado.

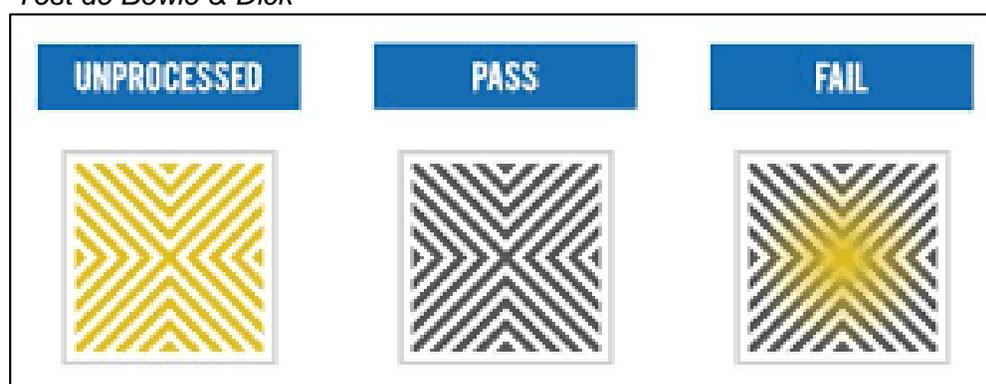
4.3 Verificación de resultados

4.3.1 *Bowie & Dick*

El test de B&D es el más importante para verificar el estado del esterilizador. Garantiza un esterilizado libre de microorganismos (temperatura mayor a 121°) y nidos de aire no extraídos durante el proceso.

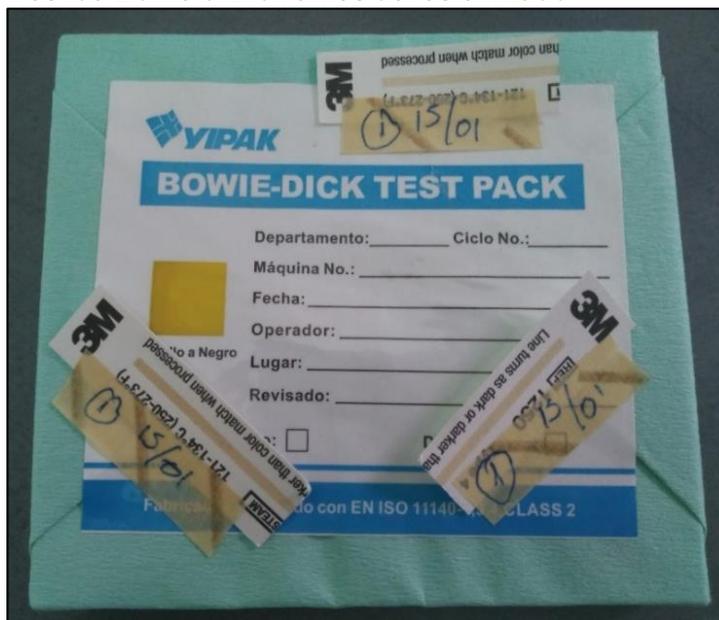
El criterio de evaluación del test es como se muestra en la Figura 52, solo cuando la hoja interna cambia su viraje de amarillo a negro uniforme, se denomina conforme el testeado e indica que las condiciones de presión y temperatura son óptimas y conformes para eliminar bacterias de bacillus.

Figura 52
Test de Bowie & Dick



Tomado de: (Criado, 2018).

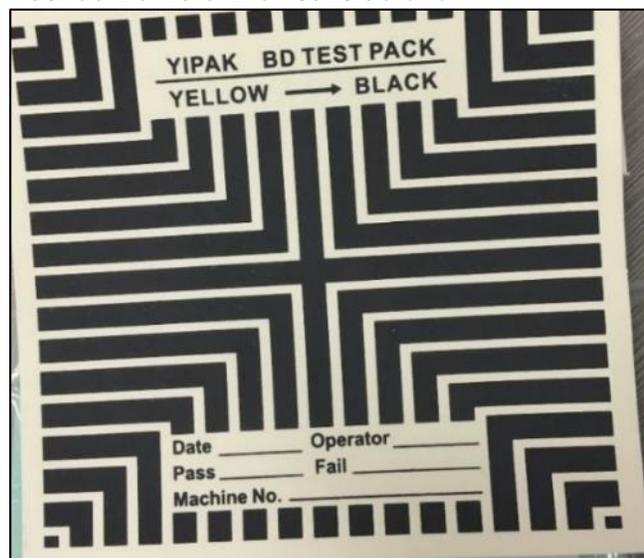
Para la siguiente prueba se rotulo el test B&D con las cintas indicadores y se ingresó a la cámara de la autoclave como se muestra en la Figura 53.

Figura 53*Test de Bowie & Dick antes del esterilizado*

Nota: Preparación del test de Bowie & Dick.

Al finalizar el proceso la Figura 54 muestra el indicador químico interno viro a negro uniformemente en todas sus superficies.

Los resultados de la primera prueba con el Test de Bowie & Dick fueron satisfactorios y el servicio aprobó el proceso.

Figura 54*Test de Bowie & Dick satisfactorio*

Nota. Test Bowie & Dick se muestra satisfactorio.

4.3.2 Proceso de Esterilización Instrumental

La siguiente prueba fue con el *proceso de instrumental*, para lo cual se observa el indicador físico HMI, químico y biológico para una mejor verificación del proceso.

Como lo muestra la Figura 55 nuestro indicador físico HMI muestra una curva de proceso conforme al proceso seleccionado y finalizado del ciclo de esterilizado para material instrumental quirúrgico. Observamos como la temperatura ha ido variando según las etapas, inicialmente los vacíos, posterior la etapa de esterilizado y finalmente la descarga con el secado para dejar ingresar el aire y poder sacar el material de la cámara.

Figura 55

Grafica del proceso de instrumental



Nota. Proceso de esterilizado, Receta instrumental.

De los indicadores químicos observamos en la Figura 56 como las cintas reactivas viran a negro intenso tras la esterilización del material instrumental.

Así mismo la cabeza del indicador biológico ha virado de rosa a café claro (confirma que ha sido expuesto al calor) como se muestra en la Figura 57 y para comprobar la fiabilidad del proceso este debe ser procesado en la lectora automática "3M Attest Auto-reader 490". Como se muestra en la Figura 58 el indicador "+" en la

lectora indica que el proceso ha fallado, caso contrario “-“ indica que el esterilizado es satisfactorio.

Figura 56

Material instrumental



Nota. Paquete de material instrumental post-esterilizado con las cintas químicas reactivas de temperatura.

Figura 57

Indicador biológico post-esterilizado



Figura 58*Incubación de los indicadores biológicos*

Pasadas las 48 horas de incubación la Figura 59 muestra que el proceso de esterilizado Instrumental con indicador biológico, físico y químico fue satisfactorio.

Figura 59*Registro de indicador biológico*

PERSONAL RESPONSABLE: Tec. A. Zeballos VBR

EsSalud

REGISTRO DE CALIDAD DE LOS PROCESOS DE ESTERILIZACIÓN

FECHA: 28-04-2021 TURNO: 2do P NRO. DE CARGA: 04

EQUIPO: CIP

BOWIE - DICK () INSTRUMENTAL () TEXTIL () JEBE ()

CANTIDAD DE PAQUETES ESTERILIZADOS: 12

INDICADORES: 3M 28/04 10 10 BIOLÓGICO ()

PERSONAL RESPONSABLE: Tec. Rosa Pérez VBR

Nota. Registros de los resultados de indicadores químicos.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La recopilación de información sobre Autoclaves, el estado actual y operativo del equipo y antecedentes de este sirvió como a varios de los autores citados en esta tesis para ayudar al desarrollo de sus objetivos, como lo demuestra Sarco (2014) quien aplico la guía PMBOOK para una mejor organización y proyección de su trabajo. Se demuestra un trabajo ordenado y objetivo que cumple de forma estructurada el desarrollo del proyecto.

Los hallazgos de la investigación han demostrado que el control ON/OFF es un control sencillo pero eficaz en procesos de respuesta lenta. Según el modelo matemático de mi planta esta muestra resultados positivos respecto a mi control ON/OFF, Naveros (2019) también hace una programación del control en Ladder similar, sin embargo tiene una autoclave con un diseño distinto, él no pudo aplicar un control ON/OFF debido a que en su sistema el error hubiera sido más grande, es por eso que usó un PID. Eso no significa que si yo aplicara un sistema PID en mi sistema esta funcionaría erróneamente, ya que el tipo de control aplicado en la automatización de procesos dependerá del tipo de proceso y sus condiciones iniciales. Para mi sistema, el control PID podría hacer que llegue al SetPoint en un menor tiempo optimizando así el tiempo del proceso y aumentando la cantidad de cargas esterilizadas por día.

Por otro lado, también contraste mis resultados con Huaman (2019) quien al igual que Naveros (2019) diseña un control PID. Ambos autores llegan a esterilizar a 134 °C y muestran pruebas finales de Bowie Dick positivas, mi sistema aplicado a 137 °C no muestra lo contrario y según manual físico de la autoclave Cisa (2001) está dentro de los límites de esterilizado permitidos para este equipo. Sin embargo para cumplir con los estándares generales mostrados en Minsa (2015) y Acosta y De Andrade (2008) será necesario adecuar a las temperaturas indicadas. Debido a que nuestro sistema es estable no habría problema y el error no variaría según se ve en los cálculos matemáticos hechos en el Capítulo 4.

Para todos los casos se verifica que los resultados finales aplicando los indicadores físicos, biológicos y químicos, los cuales son indispensables para aprobar y corroborar un proceso de esterilizado como se indicó a lo largo de esta tesis.

CONCLUSIONES

Se logró diseñar e implementar un sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado en la autoclave a vapor CISA 4210 HB del hospital Es-salud Moquegua cumpliendo los objetivos específicos planteados al inicio del proyecto.

Se recopiló, definió y estructuró la información sobre la autoclave a vapor CISA 4210HB. El personal usuario nos expuso sus necesidades principales que con ayuda de los manuales del equipo y el diagrama de flujo para el proceso se pudo entender mejor los procesos para las recetas. Así también, se reunió la información física, estado actual del equipo para lo cual se hicieron los respectivos diagramas P&ID, neumático y eléctrico lo que ayudo a diseñar el algoritmo de control.

Se diseñó la lógica de control basándome en el manual del equipo y normativa. La implementación del algoritmo de control ON- OFF fue satisfactoria debida a que se alcanzó los valores deseados para cada proceso (121°C y 134°C) con un margen de error de ± 3 °C como lo permite CISA (2001) "la máxima temperatura +3° por encima de la temperatura programada" (p. 21). De tal manera, aunque no se cumplió con la norma técnica general, si se cumplió con las especificaciones de un funcionamiento propias de la autoclave CISA, estando aun dentro de los rangos permitidos de mi equipo.

La implementación de la interfaz HMI fue muy bien aceptada por el personal usuario especialista del área de central de esterilización, por ser intuitiva y de fácil manejo, así mismo permitiendo tener un mejor control y seguimiento del funcionamiento en tiempo real. También fue considerado útil para personal de servicio técnico en la evaluación y diagnóstico de falla.

Se logró verificar que el diseño e implementación del sistema de control y supervisión alcanzara los valores de presión y temperatura deseados para el proceso de esterilizado, así mismo, obtuvimos resultados positivos durante las pruebas con los indicadores físicos, químicos y biológicos, concluyendo que los tiempos de cada etapa y vacíos por receta son los adecuados.

Como prueba definitiva además se esterilizo una caja de material instrumental de cirugía la cual mostro resultados positivos, (seca por los bordes, sin humedad en la base,

indicadores químicos virados a negro, indicador biológico negativo) teniendo todas estas características se declara como una esterilización satisfactoria.

RECOMENDACIONES

En el presente proyecto se aplicó un control ON-OFF debido a que el proceso no demandaba aplicaciones mayores, sin embargo, para posteriores investigaciones se recomienda habilitar el sensor de presión y aplicar un controlador PID para mejores resultados y control sobre el proceso.

Para posteriores trabajos, hacer nuevamente la evaluación técnica del estado, pues el tiempo de vida y estado de los instrumentos es una variante para el diseño del automatismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Gnass, S. I., & De Andrade Stempluk, V. (2008). *Manual de esterilización para centros de salud*. Washington DC, Washington DC, Estados Unidos: Organización Panamericana de la Salud.
- Airvac Technology SAS. (2017). *Bombas de vacío Anillo Líquido*. Obtenido de <https://airvac.it/bombas-de-vacio-anillo-liquido/>
- Aula21. (2020). *Centro de formación técnica para la industria*. Obtenido de Qué es un sistema SCADA, para qué sirve y cómo funciona: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>
- Casilla Jancco, C., & Reyna Macedo, J. W. (2016). *Diseño de un sistema de control automático para optimizar el manejo del equipo de autoclave de vapor en la central de esterilización del Hospital Nacional Cayetano Heredia*. Universidad de Ciencias y Humanidades, Lima, Los Olivos- Lima.
- CISA. (2001). Manual de operación y Mantenimiento Módulo Introducción. En C. Ltda.
- Control Valves. (2021). *Valvula neumático de asiento inclinado*. Obtenido de <https://www.controlvalvesperu.com/valvula-neumatico-asiento-inclinado.html>
- Cortes Munguía, Joel y Suárez Juárez, Ulises y. (2015). *Diseño del sistema de control de procesos para una autoclave híbrida*. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Criado-Alvarez, J. (20 de Agosto de 2018). *La prueba o test de Bowie-Dick*. Obtenido de <https://elautoclave.wordpress.com/2018/08/20/la-prueba-o-test-de-bowie-dick/>
- De Amorim Terceiro, F. C., Da Fonseca Lopes, R. V., & Koiti Kuga, H. (2006). Modelling the internal temperature of an autoclave using parameter estimation. *Brazilian Conference on Dynamics, Control and Their Applications*, (pág. 4). Guaratinguetá.
- EsSalud. (2016). Normas y procedimientos de la central y unidad de esterilización del seguro social de salud - Es salud. Lima.
- Farmacéutica Silvia Robilotti. (2016). *Esterilización por vapor de agua*. Argentina.
- Godoy, D. A. (2019). Valoración de la eficacia del proceso de esterilización del instrumental odontológico por autoclave y calor seco. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja

- Hernani, L. A., Coronado, L. P., Neyra, D. J., Balarezo, D. W., Zavalaga, D. F., Zavala, L. R., . . . Chuquipiondo, L. M. (2002). *Manual de desinfección y esterilización hospitalaria*. Peru: ministerio de salud.
- Huaman Chavez, A. R. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de control automático de un esterilizador de instrumentos médicos a vapor para la empresa H.W.. KESSEL S.A.C.* Lima: Universidad Tecnológica del peru.
- Laboratorio Químico. (2020). www.tplaboratorioquimico.com. Obtenido de <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/autoclave-de-laboratorio.html#:~:text=Un%20autoclave%20es%20un%20recipiente,material%20m%C3%A9dico%20o%20de%20laboratorio.&text=Los%20autoclaves%2>
- Mello, V. F. (2016). Projeto e implementação de sistema de controle de temperatura para esterilização de autoclave. São Paulo : Instituto Federal de Educação, ciencia e tecnologia de São Paulo .
- Ministerio de Salud [MINSA]. (2015). *Guía técnica para el mantenimiento preventivo de esterilizadores a vapor*. Lima - Perú: Ministerio de Salud..
- MINSA. (2015). *Guía técnica para el mantenimiento preventivo de esterilizadores a vapor*. Lima - Perú: Ministerio de Salud.
- Naveros Mendoza, H. (2019). *Diseño de un control para el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María 2018*. Universidad Tecnológica del Peru, Lima, Lima.
- Nikolay. (2019). *Programacion de Factory Talk View*. Obtenido de <http://nbozov.com/programming/post/67/FactoryTalk-View--adding-object-to-Library>
- Olson, V. (22 de Diciembre de 2013). *Estudiantes en laboratorio blogspot*. Obtenido de <http://estudiantesenlaboratoristaquimico.blogspot.com/2013/12/historia-del-autoclave.html#:~:text=El%20primer%20autoclave%20se%20fabrica,recopilaci%C3%B3n%20de%20baremos%20de%20esterilizaci%C3%B3n>.
- Omega. (2020). *Pt100*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html>
- Omron. (2020). *CPM2A Especificaciones*.
- Project Management Institute, Inc. [PMI]. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del PMBOK®) Quinta edición*. Pensilvania: NISO (National Information Standards Organization).

- Pulley M, I., & Flores H., J. (2019). *Automatización del proceso de generación de vapor mediante un PLC y una HMI para el departamento de esterilización del Hospital León Becerra de Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana.
- Rockwell Automation . (2015). <https://www.rockwellautomation.com>.
- Rockwell Automation. (2019). *Manual de usuario, MicroLogix 1400 Programmable Controllers*.
- Rojas Moreno, A., & Rodríguez Bustinza, R. (2005). *Control no lineal multivariable: aplicaciones en tiempo real*. Lima.
- Saenz Casallas, E. M. (2017). *Ingeniería conceptual básica y de detalle para la automatización de la autoclave CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS modelo SR24-DMCV*. Sangolquí: ESPE.
- Sarco Montiel, L. M. (2014). *Optimización del control automático e implementación de un SCADA para el proceso de teñido en una autoclave - fábrica Inca Tops*. Arequipa-Peru: Universidad Nacional San Agustín.
- SEITA S.A.S. (2021). *DETECCIÓN DE FUGAS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR*. Obtenido de <https://www.seita.com.co/aplicaciones/industria-general/deteccion-de-fugas-en-intercambiadores-de-calor/>
- Skellie, B. (31 de Marzo de 2010). *brnskill.com*. Obtenido de <https://brnskill.com/es/shares/a-brief-history-of-sterilization/>
- SUPPLYESV. (2017). *Mecado Libre*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-463156170-guardamotor-45-63a-siemens-3rv1011-_JM
- Telectronica. (26 de enero de 2013). <http://telectronica.blogspot.com>. Obtenido de <http://telectronica.blogspot.com/2013/01/rslogix-500-pro-simulador.html>
- TLV. (2021). *Teoría básica de trampas de vapor*. Obtenido de <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-a-steam-trap.html>
- TME. (2021). *Contactador 3RT1024-1BE40 SIEMENS*. Obtenido de <https://www.tme.eu/es/details/3rt1024-1be40/contactadores-modulos-principales/siemens/>
- TME. (2021). <https://www.tme.eu/es/details/3rt1916-1bb00/contactadores-equipamiento-adicional/siemens/>. Obtenido de <https://www.tme.eu/es/details/3rt1916-1bb00/contactadores-equipamiento-adicional/siemens/>

Viola Villamizar, J., Restrepo Agudelo, R., & Gómez, P. (2018). Control de temperatura de una autoclave de vapor saturado para la esterilización de instrumental quirúrgico. *Revista UIS Ingenierías*, 6.

Wiautomation. (2020). Obtenido de Omron, CQM1-CPU41: https://pe.wiautomation.com/omron/plc-sistemas/CQM1CPU41V1?utm_source=shopping_free&utm_medium=organic&utm_content=PE89691&gclid=CjwKCAjwpMOIBhBAEiwAy5M6YEOQkLRRdSjdHOLuYbZRFycY7WWLI96OUP1cP-P85Fs9JP1m9gSJ4RoCs4sQAvD_BwE

Wiautomation. (2020). *NT21-ST121-E Omron*. Obtenido de <https://pe.wiautomation.com/omron/hmi-pc-industriales/NT21ST121E>

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia

“Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado en la autoclave a vapor Cisa 4210HB del Hospital Essalud Moquegua”

Planteamiento del problema	Hipótesis	Objetivos	Variable	Indicadores	Metodología
<p>Problema principal:</p> <p>¿Cómo el diseño e implementación de un sistema de control y supervisión automático influye en el proceso de esterilizado de la autoclave a vapor CISA 4210HB?</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>El diseño e implementación de un sistema de control y supervisión automático reestablecerá y optimizará el proceso de esterilizado de la autoclave a vapor CISA 4210HB del hospital Es-salud Moquegua.</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Diseñar e implementar un sistema de control y supervisión automático para el proceso de esterilizado en la autoclave a vapor CISA 4210 HB del hospital Es-salud Moquegua.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Sistema de control y supervisión automático</p>	<p>Indicador 1</p> <p>Tiempo de asentamiento del sistema</p> <p>Indicador 2</p> <p>Reporte de eventos</p>	<p>Diseño de la investigación:</p> <p>Diseño de laboratorio</p> <p>Tipo de investigación:</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>¿Qué información de la autoclave a vapor CISA 4210HB deberá ser recopilada, definida y estructurada?</p> <p>¿Cómo se realizará el diseño e implementación del algoritmo de control y supervisión en la autoclave Cisa 4210HB?</p> <p>¿Cómo verificar que el diseño e implementación del sistema de control y supervisión alcanza los valores de presión y temperatura del proceso de esterilizado?</p>	<p>Hipótesis específica:</p> <p>La recopilación, definición y estructuración de información de la autoclave a vapor CISA 4210HB mejora el enfoque para el diseño del sistema de control y supervisión automático.</p> <p>El algoritmo de control y supervisión diseñado e implementado a la autoclave Cisa 4210HB es compatible y cumple los estándares para procesos de esterilizado.</p> <p>Se verifica el buen diseño e implementación del sistema de control y supervisión cuando alcanza los valores de presión y temperatura deseados para el proceso de esterilizado</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>Recopilar, definir y estructurar la información sobre la autoclave a vapor CISA 4210HB.</p> <p>Diseñar e implementar el algoritmo de control y supervisión para la autoclave Cisa 4210HB.</p> <p>Verificar que el diseño e implementación del sistema de control y supervisión alcanza los valores de presión y temperatura deseados para el proceso de esterilizado.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Proceso de esterilizado</p>	<p>Indicador 1</p> <p>Comportamiento de temperatura y presión.</p>	<p>Investigación experimental</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>Aplicada</p>

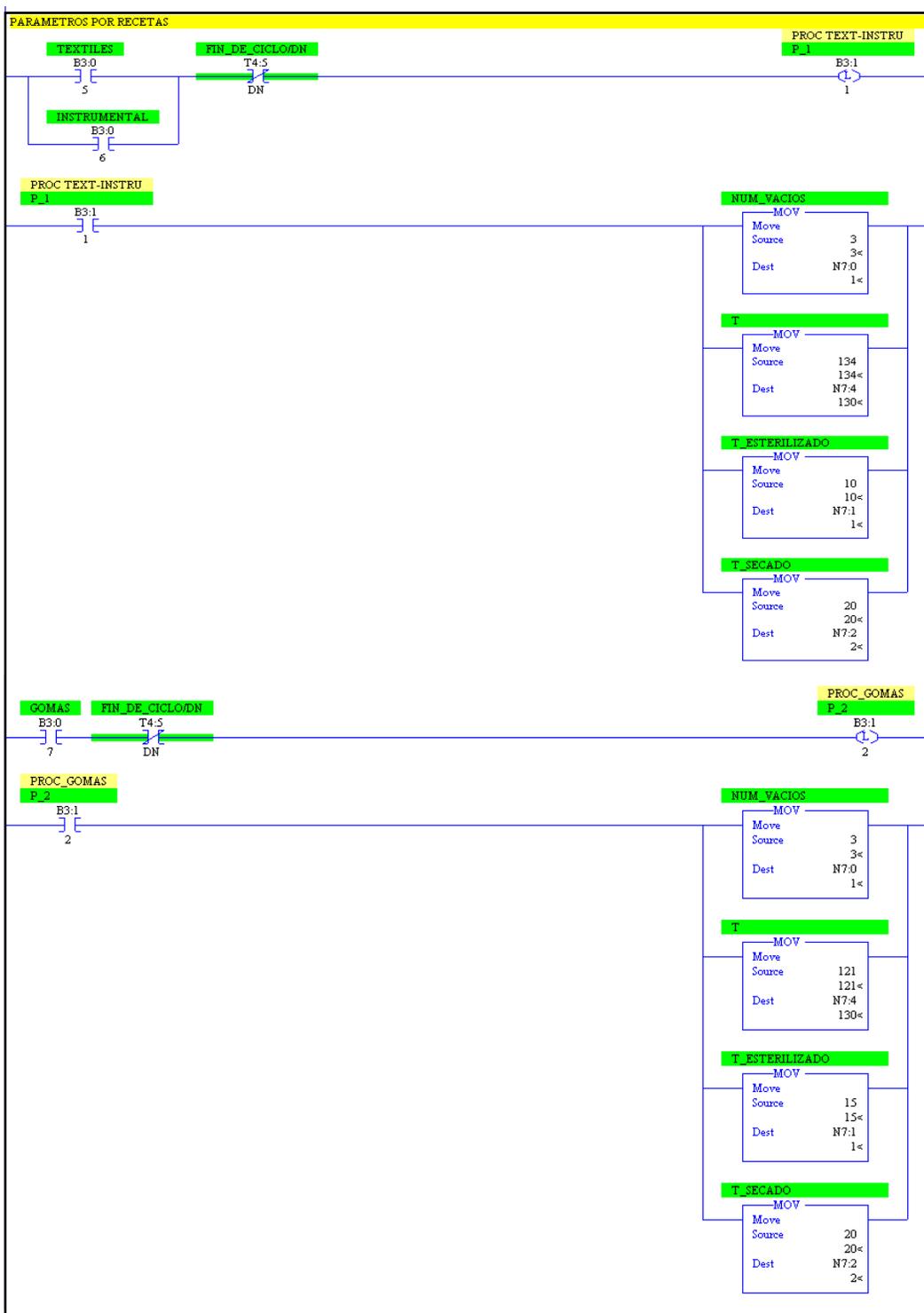
Anexo 2 Datos en tiempo real**“Datos del calentamiento y esterilizado por 5 Minutos”**

Tiempo	Temperatura	Presión
0	81	-0.3
4	81	0.1
8	94	0.5
12	105	0.9
16	109	1.2
20	116	1.4
24	119	1.6
28	122	1.8
32	124	1.9
36	126	2
40	128	2.1
44	129	2.2
48	130	2.3
52	131	2.4
56	132	2.5
60	132	2.5
64	133	2.6
68	133	2.6
72	134	2.7
76	134	2.7
80	135	2.7
84	135	2.7
88	136	2.7
92	136	2.7
96	136	2.7
100	137	2.7
104	137	2.7
108	136	2.7
112	137	2.7
116	136	2.7
120	137	2.7
124	137	2.7
128	136	2.7
132	137	2.7
136	137	2.7
140	136	2.7
144	137	2.7
148	137	2.7

Anexo 2 Datos en tiempo real (continuación)**“Datos del calentamiento y esterilizado por 5 Minutos”**

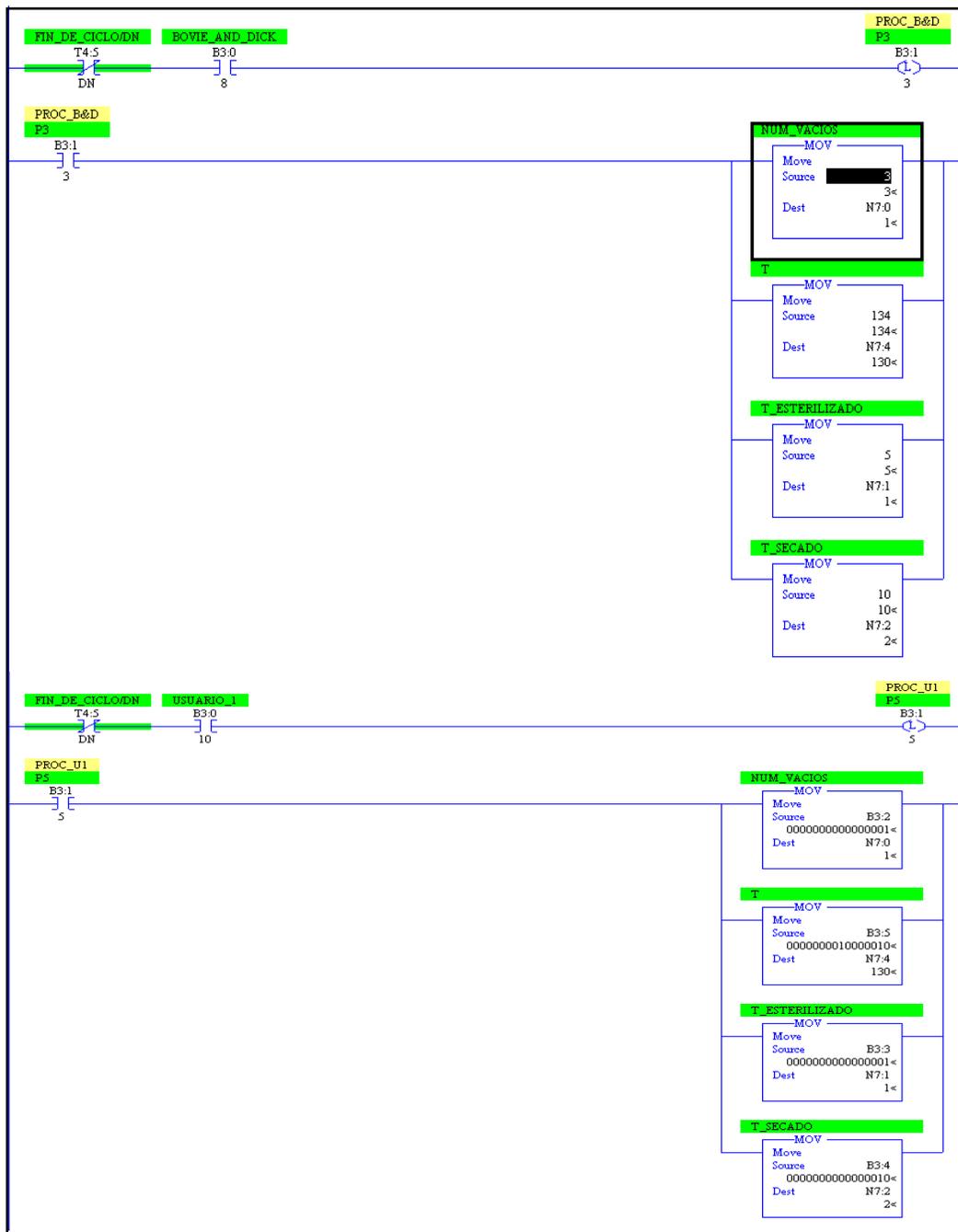
Tiempo	Temperatura	Presión
152	136	2.7
156	137	2.7
160	137	2.7
164	137	2.7
168	137	2.7
172	137	2.7
176	137	2.7
180	137	2.7
184	137	2.7
188	137	2.7
192	137	2.7
196	136	2.7
200	137	2.7
204	137	2.7
208	137	2.7
212	137	2.7
216	137	2.7
220	137	2.7
224	137	2.7
228	137	2.7
232	137	2.7
236	137	2.7
240	137	2.7
244	137	2.7
248	137	2.7
252	137	2.7
256	137	2.7
260	137	2.7
264	137	2.7
268	136	2.7
272	137	2.7
276	137	2.7
280	137	2.7
284	137	2.7
288	137	2.7
292	137	2.7
296	137	2.7
300	137	2.7

Anexo 3 Programación Ladder "Selección de recetas"



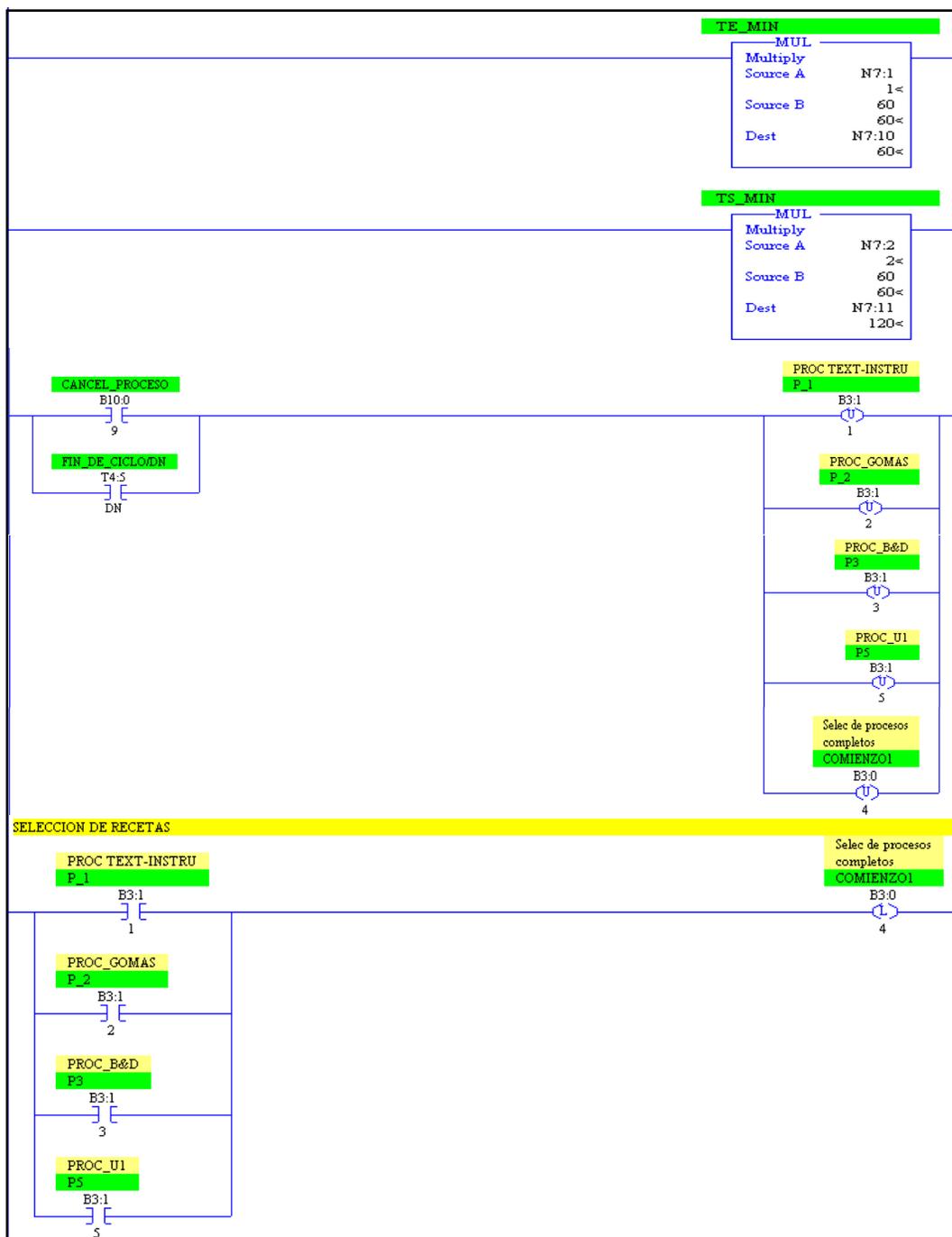
Anexo 3 Programación Ladder (continuación)

“Selección de recetas”

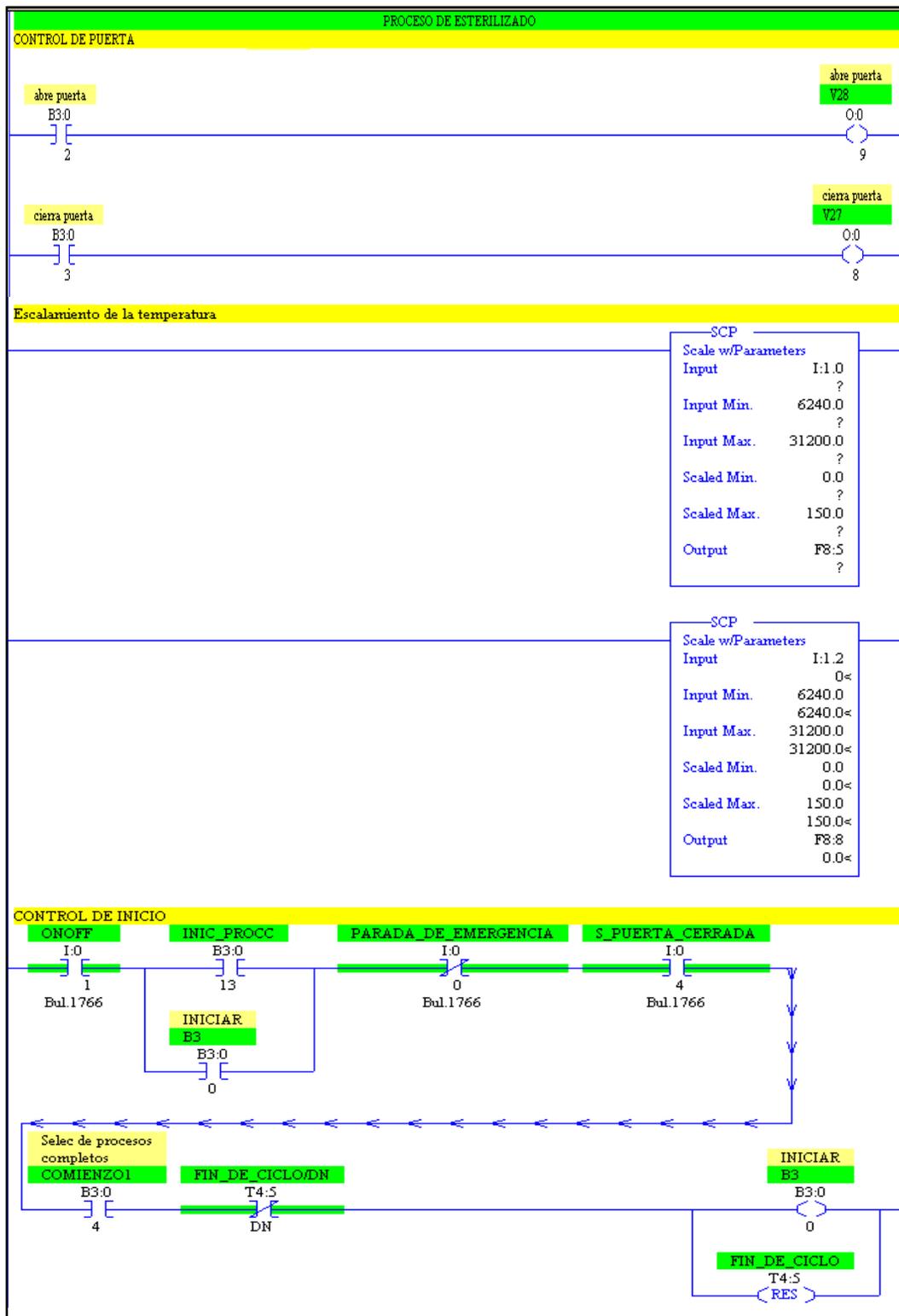


Anexo 3 Programación Ladder (continuación)

“Selección de recetas”

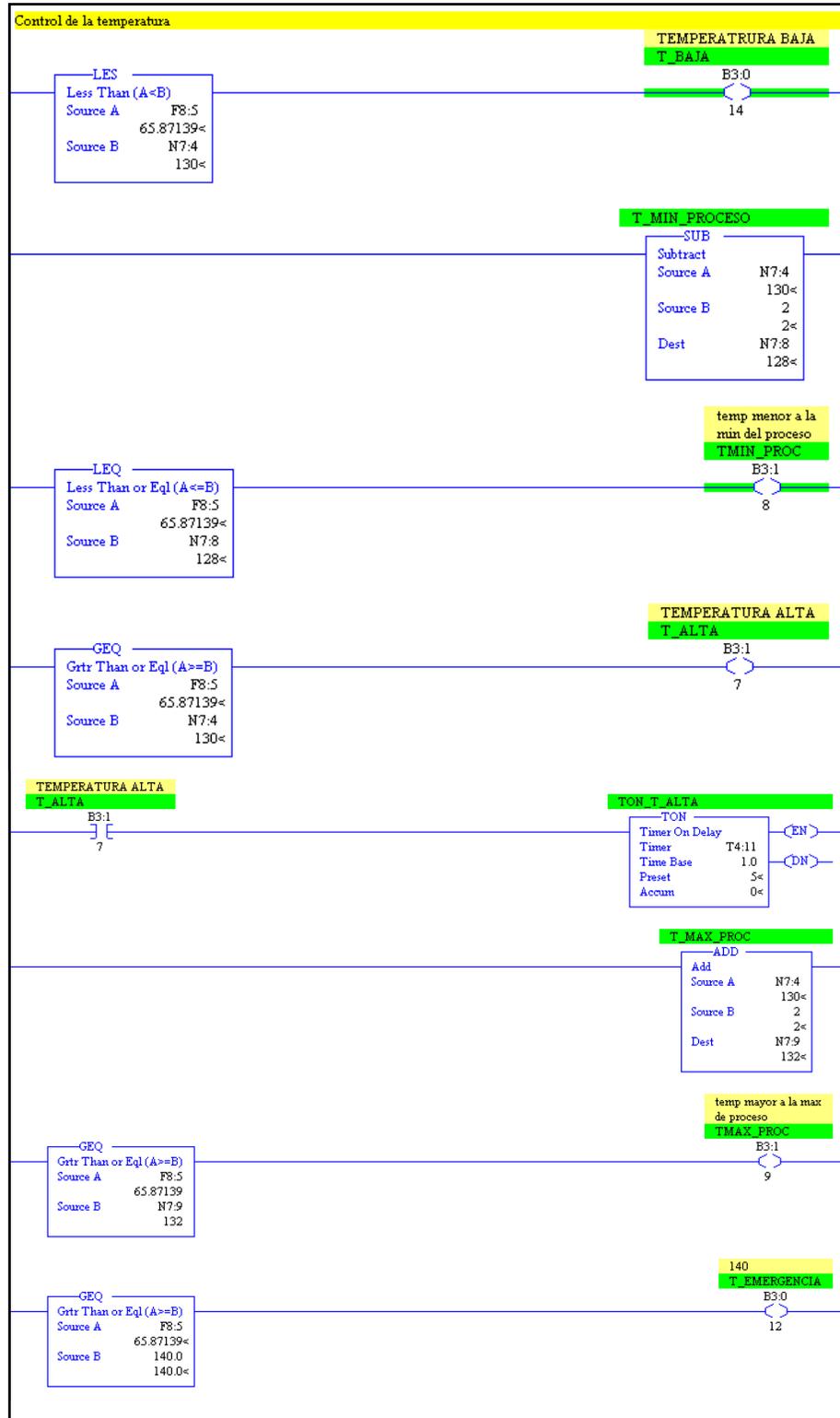


Anexo 4 Programación Ladder "Proceso de Esterilización"



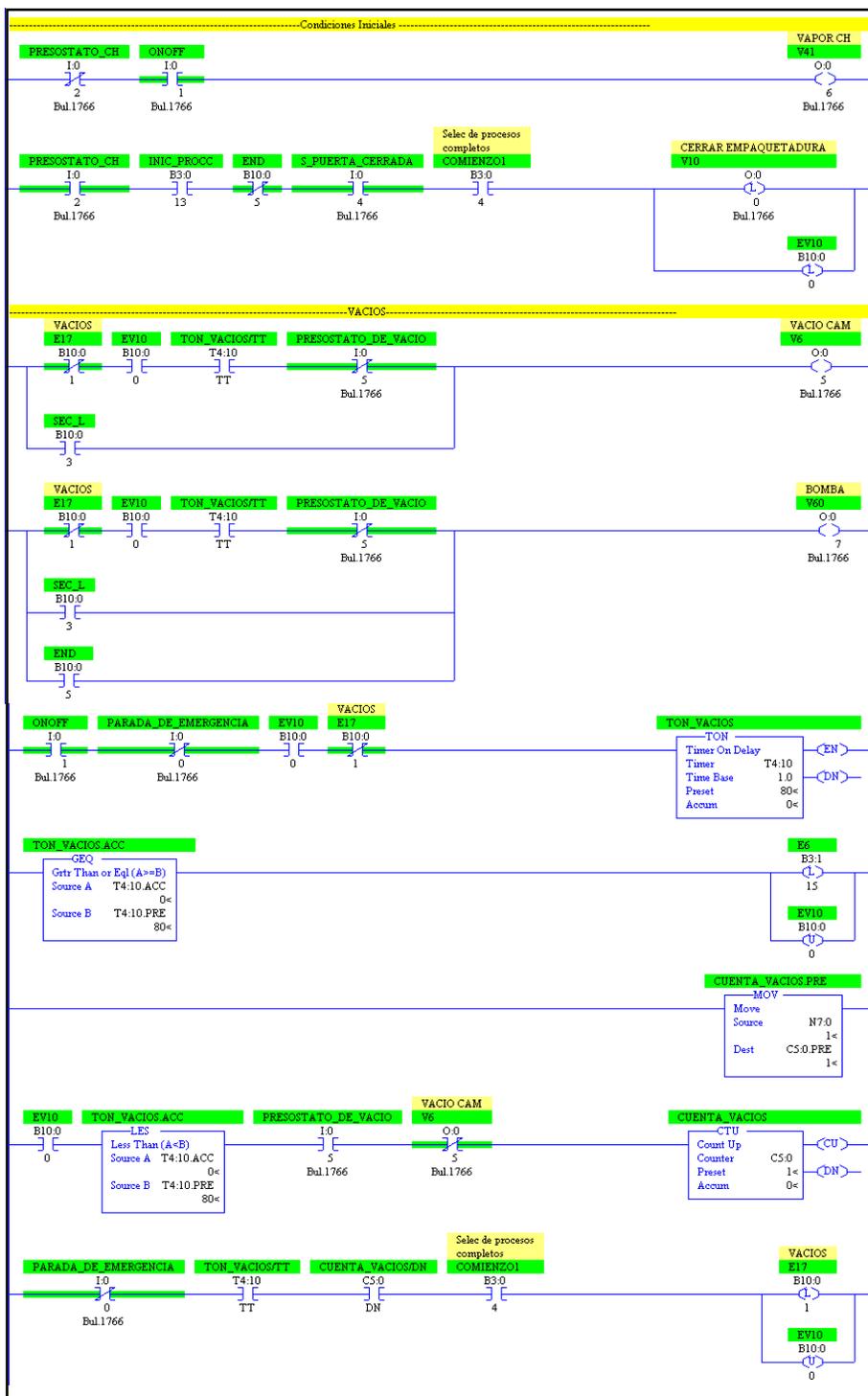
Anexo 4 Programación Ladder (continuación)

“Proceso de Esterilización”



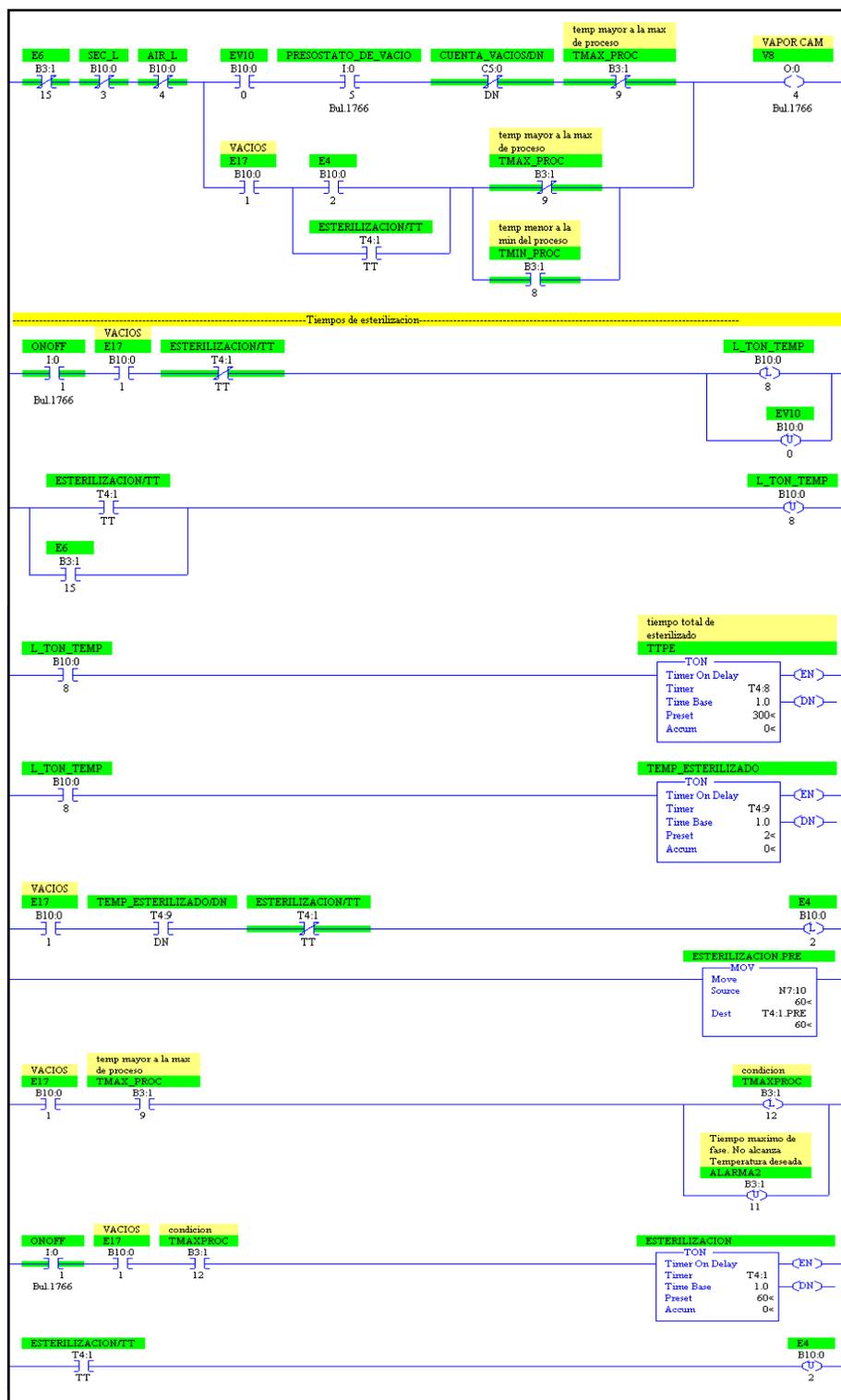
Anexo 4 Programación Ladder (continuación)

“Proceso de Esterilización”



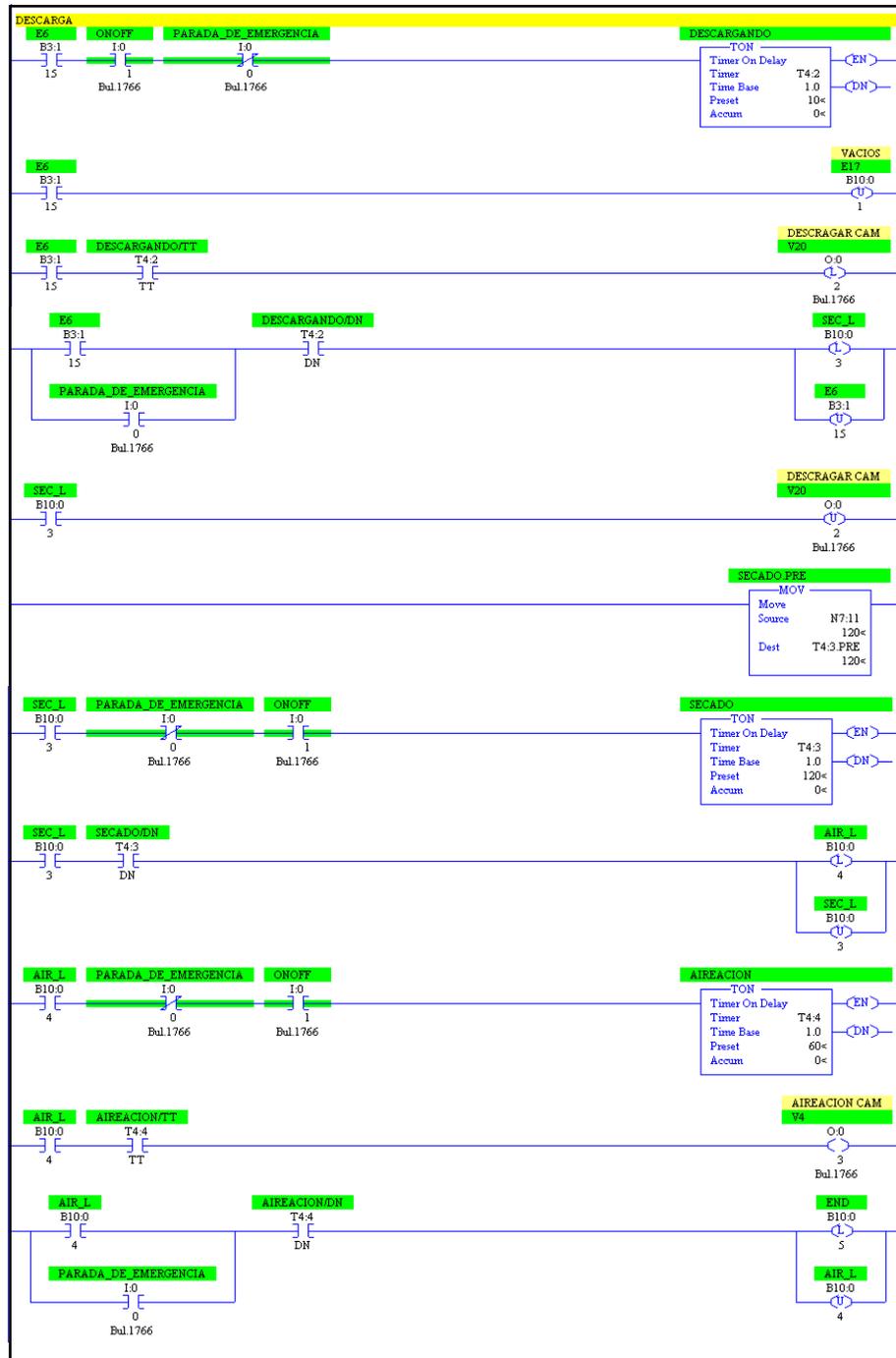
Anexo 4 Programación Ladder (continuación)

“Proceso de Esterilización”

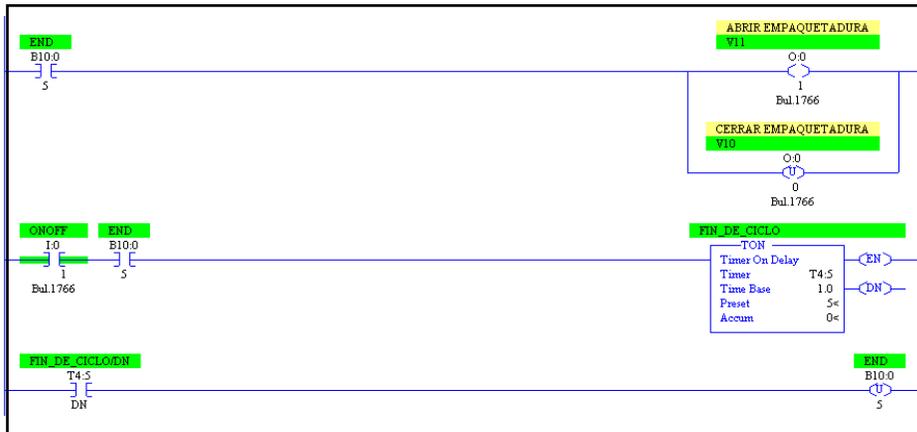


Anexo 4 Programación Ladder (continuación)

“Proceso de Esterilización”



Anexo 4 Programación Ladder (continuación) “Proceso de Esterilización”



Anexo 5 Programación Ladder

Reset de variables

