



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA, Y DE DETALLE
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA AUTOCLAVE
CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS MODELO SR24-
DMCV**

AUTOR: SÁENZ CASALLAS MAYERLY ELVIRA

DIECTOR: ING. SOTOMAYOR DANNY

SANGOLQUÍ

2017



**DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN AUTOMATIZACION Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA, Y DE DETALLE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA AUTOCLAVE CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS MODELO SR24-DMCV" realizado por el señorita MAYERLY ELVIRA SAENZ CASALLAS, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señorita MAYERLY ELVIRA SAENZ CASALLAS para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, febrero del 2017


Ing. Danny Setomayor
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN AUTOMATIZACION Y
CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Mayerly Elvira Sáenz Casallas, con numero de visa N° 8400004910 declaro que este trabajo de titulación, "INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA, Y DE DETALLE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA AUTCLAVE CONSOLIDATED STILL & STERILIZERS MODELO SR24-DMCV" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, febrero del 2017

MAYERLY ELVIRA SAENZ CASALLAS

PASAPORTE No. FB540207



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN AUTOMATIZACION Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Mayerly Elvira Sáenz Casallas, autorizo a la universidad de las fuerzas armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación, "INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA, Y DE DETALLE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA AUTOCLAVE CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS MODELO SR24-DMCV" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, febrero del 2017

MAYERLY ELVIRA SAENZ CASALLAS

PASAPORTE No. FB540207

DEDICATORIA

Este logro es tuyo mamita linda, eres el ser más importante en mi vida, mereces mi más profundo agradecimiento, nos formaste como personas de bien para defendernos en el mundo que hoy vivimos. Eres mi apoyo incondicional y mereces toda mi admiración por ser una madre ejemplar e inculcar los valores y principios que me han formado como ser humano y futura profesional. Te debo todo, Gracias mamita linda.

AGRADECIMIENTO

Es un logro que quiero agradecer primero a Diosito, que ha permitido que termine un objetivo plantado el primer día que toque territorio ecuatoriano, solo gracias a él que me llenó de salud, de amor y de la oportunidad de poder estar con mi familia en estos años de mucho esfuerzo.

A mi mami Edith, por ser la mejor madre y padre para nosotras, eres digna de mi admiración por que solita pudiste sacar adelante a 3 hijas ahora profesionales, y no hubiera sido posible sin tu apoyo, comprensión amor y cariño incondicional, este más que mi sueño es tu sueño, y juntas lo cumplimos, te amo mamita preciosa.

A mis hermanas por ser parte fundamental de mi vida, que aunque no pasamos todo el tiempo juntas cada una sabe que las otras estarán ahí para apoyarse. Por último pero no menos importante a mi tutor, Ingeniero Danny Sotomayor, quién con su apoyo y paciencia, contribuyó a este gran logro. Gracias a todos.

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en mi formación profesional en el transcurso de estos años de vivencias, a mis amigas confidentes, amigos, profesores y todas aquellas lindas personas que hicieron de esta etapa de mi vida una experiencia inolvidable.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
TABLA DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 General	4
1.3.2 Específicos	4
1.4 DESCRIPCIÓN Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	4
1.4.1 Descripción	4
1.4.2 Requerimientos técnicos del proyecto	5

CAPÍTULO II	7
INGENIERÍA CONCEPTUAL	7
2.1 Sistema de generación de vapor	7
2.1.1 Calderas.....	7
2.1.2 Los cabezales	8
2.2 Válvulas.....	10
2.2.1 Válvula check	11
2.2.2 Válvula dredge o de limpieza	11
2.2.3 Válvula mariposa.....	12
2.2.4 Válvula de bola.....	12
2.3 Sistema de instrumentación	13
2.3.1 Sensores de temperatura	13
2.3.1.1 RTD.....	14
2.3.2 Sensores de Presión.....	17
2.3.2.1 Elementos mecánicos	17
2.3.2.2 Elementos electromecánicos.....	18
2.4 Sistemas de control.....	21
2.4.1 Sistemas de control en lazo cerrado	22
2.4.2 Sistema de control en lazo abierto.....	23
2.5 Descripción de las autoclaves	23
2.5.1 Especificaciones de funcionamiento de la autoclave Consolidated.....	27
2.5.2 Esquema general de la autoclave	30
2.5.3 Operación de la pantalla	32

2.6	Descripción de las funciones internas	35
2.6.1	Bomba de vacío	35
2.6.2	Intercambiador de calor	38
2.6.3	Sistema de tuberías.....	40
2.6.3.1	Válvulas de seguridad o de alivio.	40
2.6.3.4	Sistema de desfogue	47
2.6.4	Sistema de control eléctrico.....	48
2.7	Elementos de medición	49
CAPÍTULO III		52
INGENIERÍA BÁSICA.....		52
3.1	Diseño para el sistema de esterilización	52
3.1.2	Variables técnicas del sistema	53
3.1.3	Sensor de temperatura PT100.....	53
3.1.4	Sensor de presión.....	55
3.2	Cámara	56
3.3	Bomba de agua generadora de vacío e intercambiador de calor	57
3.4	Sistema de control	59
3.5	Sistema eléctrico.....	60
3.6	Válvulas.....	61
3.7	Pantalla táctil.....	62
3.8	Diagrama P&ID	63
3.9	Programas de esterilización	65
CAPÍTULO IV.....		67

INGENIERÍA DE DETALLE.....	67
4.1 Programación de los ciclos de esterilización	67
4.1.1 Programa esterilización de Instrumentos	67
4.1.2 Programa esterilización de Ropa	72
4.1.3 Programa Prueba de fugas	75
4.1.4 Programa de Bowie Dick	77
4.2 Operación del controlador y HMI del sistema.....	83
4.2 Desarrollo del HMI	83
4.3 Programación del PLC	90
CAPÍTULO V	94
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	94
5.1 Simulación funcionamiento Prueba de elementos.....	94
5.2 Prueba de funcionamiento de ciclo ropa	96
5.3 Prueba de funcionamiento de ciclo de instrumentos	103
5.4 Prueba de funcionamiento de ciclo fuga de aire	107
5.5 Prueba de funcionamiento de Bowie Dick.....	110
CAPÍTULO VI.....	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
6.1 Conclusiones.....	115
6.2 Recomendaciones	117
CAPÍTULO VII	119
7.1 BIBLIOGRAFIA.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de sondas de resistencia	15
Tabla 2. Tipos de conexión del pt100	16
Tabla 3. Características de autoclaves	25
Tabla 4. Parámetros técnicos de la autoclave marca Consolidated	27
Tabla 5. Datos técnicos de la bomba de vacío	37
Tabla 6. Dimensiones de la bomba	38
Tabla 7. Datos técnicos de las válvulas de seguridad	41
Tabla 8. Datos técnicos de la válvula reguladora de presión	43
Tabla 9. Datos técnicos de la válvula de ingreso de vapor a la camisa	44
Tabla 10. Datos técnicos de la válvula para ingreso de aire	46
Tabla 11. Datos técnicos de válvulas de desfogue	48
Tabla 12. Características del transductor de presión de reemplazo	55
Tabla 13. Características de filtro de agua	59
Tabla 14. Entradas y salidas del PLC	59
Tabla 15. Características de la pantalla táctil	63
Tabla 16. Nomenclatura de diagrama P&ID	64
Tabla 17. Programas de esterilización con sus parámetros de funcionamiento	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Autoclave CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS	2
Figura 2. Cinta de testigo en los paquetes de esterilización	2
Figura 3. Calderas del área de mantenimiento del hospital Naval de Esmeraldas	8
Figura 4 Cabezal del Hospital Naval de Esmeraldas	9
Figura 5. Tuberías principales	9
Figura 6 Ramal de ingreso de vapor a la autoclave.....	10
Figura 7 Válvula Check	11
Figura 8 Válvula de dredge.....	11
Figura 9 Válvula de mariposa.....	12
Figura 10 Válvula de bola.....	12
Figura 11 Método simple de medir la temperatura del proceso	16
Figura 12 Transductor Resistivo	18
Figura 13. Transductor de inductancia variable	19
Figura 14 Transductor de reluctancia variable	20
Figura 15 Transductor Capacitivo.....	21
Figura 16 Sistema de control en lazo cerrado.....	22
Figura 17 Diagrama en lazo abierto	23
Figura 18 Vista frontal de las autoclaves.....	26
Figura 19 Imagen frontal de la autoclave Consolidated	30
Figura 20 Esquema general de la autoclave	31
Figura 21 Diagrama de flujo de autoclave Consolidated.....	32
Figura 22 Subproceso de configuración de control.....	33
Figura 23 Sub proceso de impresora	34
Figura 24 Diagrama de flujo del subproceso de la configuración de las alarmas	35
Figura 25. Bomba de vacío hospital Naval de Esmeraldas	36
Figura 26 Dimensiones de la Bomba	38
Figura 27 Tanque de agua.....	39
Figura 28 Sistema de bomba y tanque de agua	39

Figura 29 Válvulas de seguridad	41
Figura 30 Válvula reguladora de presión.....	42
Figura 31 Diagrama de válvula reguladora e ingreso de vapor a la cámara	43
Figura 32 Sistema de ingreso de vapor	45
Figura 33 Válvula de paso de aire y vapor	46
Figura 34 Válvula de alivio	47
Figura 35 Manómetros de la autoclave	50
Figura 36 Sensor de presión de la autoclave P155-75A-F1A	51
Figura 37 Sistema actual de suministro de agua para la bomba y el intercambiador	57
Figura 38 Nuevo sistema de suministro de agua.....	58
Figura 39 Válvula (dañada) de paso de vapor de la camisa a la cámara	62
Figura 40 Pantalla táctil	62
Figura 41 Diagrama de tiempos para funcionamiento de válvulas	68
Figura 42 Etapa de vacío.....	69
Figura 43 Diagramas de flujo de Control ON-OFF	70
Figura 44 Desfogue de vapor y equilibrio de presión	71
Figura 45 Diagrama de tiempos para funcionamiento de válvulas	72
Figura 46 Etapa de vacío.....	73
Figura 47 Control ON OFF, desfogue, secado y equilibrio.....	74
Figura 48 Diagrama de tiempos para la prueba de fugas	75
Figura 49 Fases de vacío y estabilidad.....	76
Figura 50 Fase de monitoreo de 10 min.....	77
Figura 51 diagrama de tiempos Bowie Dick	78
Figura 52 Etapa de vacío.....	79
Figura 53 Etapa de esterilización con hoja de prueba B&D	80
Figura 54 Etapa de desfogue, de secado y de equilibrio	81
Figura 55 Hoja de B&D	82
Figura 56 Pantalla principal HMI.....	84
Figura 57 Pantalla Operador	85
Figura 58 Ciclo de Ropa	86

Figura 59 Ciclo de Instrumentos	87
Figura 60 Ciclo de Bowie Dick	87
Figura 61 Pantalla técnicos	88
Figura 62 Ciclo de prueba de fugas.....	89
Figura 63 Prueba manual de Elementos de control	89
Figura 64 Grafcet principal.....	90
Figura 65 Grafcet Ciclos de esterilización.....	91
Figura 66 Grafcet Prueba de fugas	92
Figura 67 Activación de válvulas con la puerta abierta	94
Figura 68 Activación de válvulas con la puerta cerrada	95
Figura 69 Activación de alarmas	95
Figura 70 Ciclo de Ropa	96
Figura 71 Etapa de vacío.....	97
Figura 72 Activación de V2 para generar pulso de vapor	97
Figura 73 Activación de V3 para generar pulso de vacío	98
Figura 74 Etapa de calentamiento	99
Figura 75 Etapa de esterilización	99
Figura 76 Etapa de desfogue.....	100
Figura 77 Activación de la bomba durante la etapa de desfogue	100
Figura 78 Etapa de secado	101
Figura 79 Etapa de igualdad de presiones	101
Figura 80 Fin de ciclo	102
Figura 81 Opción de nuevo ciclo	102
Figura 82 Etapa de vacío.....	103
Figura 83 Etapa de calentamiento	104
Figura 84 Etapa de esterilización	104
Figura 85 Etapa de desfogue.....	105
Figura 86 Activación de la bomba	105
Figura 87 Etapa de secado	106
Figura 88 Etapa de equilibrio	106

Figura 89 Fin de ciclo	107
Figura 90 Etapa de vacío de 1.5 psi	107
Figura 91 Etapa de estabilidad.....	108
Figura 92 Etapa de monitoreo	108
Figura 93 Mensaje no hay fugas.....	109
Figura 94 Fugas presentes.....	109
Figura 95 Etapa de vacío.....	110
Figura 96 Etapa de calentamiento	111
Figura 97 Etapa de esterilización	111
Figura 98 Etapa de desfogue.....	112
Figura 99 Activación de la bomba	112
Figura 100 Etapa de secado	113
Figura 101 Etapa igualdad de presiones	113
Figura 102 Etapa igualdad de presiones	114

RESUMEN

En el presente documento se realiza el proceso de diseño de control y monitorización para el sistema de la autoclave de Marca: CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS, Modelo: SR24-DMCV y Serie 5900-78, que se encuentra en el Hospital Naval de Esmeraldas en el área de esterilización. Este equipo se utiliza para esterilizar todos los elementos del quirófano, como lo son, indumentaria, instrumentos quirúrgicos, gazas componentes y accesorios de los equipos médicos. El proyecto requiere del monitoreo del proceso de esterilización, durante este proceso de automatización se requiere manipular 2 variables que intervienen directamente en el proceso, estas son temperatura y presión además los elementos que hacen parte fundamental en el proceso de la autoclave son sensores de presión, de temperatura, electroválvulas, filtros, la bomba de agua que genera el vacío el intercambiador de calor utilizado para la condensación del vapor y el por último pero no menos importante el PLC encargado de la adquisición y procesamiento de los datos obtenidos por las variables además de actuar sobre los elementos de control para el proceso de esterilización. El sistema cuenta con un registro de proceso con el fin de entregar un reporte, no solo al operador sino también al jefe de mantenimiento.

Palabras claves:

- **ESTERILIZACIÓN**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **VACIO**

ABSTRACT

In this document is performed the control design process and system monitoring of the autoclave: CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS, Model: SR24-DMCV, which is located in Hospital Naval de Esmeraldas, in sterilization area, this equipment is used for sterilizing all elements of the quirofano, like as: dress, surgical instruments, gauze, components and accessories medical equipment. The project requires two stations, one to monitor from maintenance area, where only is realized the system supervision of maintenance manager and the second station is located in the same area where sterilization process is done. In the automatization process it's necessary to handle 2 variables involved in, which are temperature and pressure, moreover the elements used for autoclave operation are: pressure sensors, temperature, pneumatic valves and solenoids, filters, vacuum pump, condenser where steam is cooled an exhausted from the chamber and then be treated by the pump and the PLC it is responsibility of acquisition and processing of data by the variables moreover PLC also acts on the control elements for sterilization process. Finally the system has a record which is delivered to operator, and also to maintenance manager.

Key Word:

- **STERILIZATION**
- **AUTOMATIZATION**
- **VACCUM**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Con el paso de los años y en el afán de prevenir enfermedades provocadas por bacterias en los alimentos y en las bebidas, el padre de la microbiología moderna, Louis Pasteur descubre un método para lograr una esterilización parcial de los alimentos y líquidos, si alterar significativamente su estructura física, sus componentes químicos y sus propiedades.

Existen muchos métodos de esterilización, entre los cuales se destaca el método mediante vapor de agua llamados autoclaves. La autoclave es un recipiente robusto, de paredes gruesas, con un cierre hermético metálico que permite trabajar a alta presión. Su objetivo es el de provocar una reacción industrial, una cocción o una esterilización con vapor de agua. Debe ser un recipiente bastante robusto que permita soportar presiones y temperaturas elevadas para que la temperatura supere los 100 °C y el vapor que se genere produzca la eliminación total de los microorganismos.

El autoclave modelo: SR24-DMCV, es un equipo antiguo con los ciclos básicos de esterilización, que requiere de un mejor control de monitoreo, en la figura 1, se muestra el estado actual de la autoclave a automatizar, el cual tiene su estructura física en buenas condiciones, es decir la parte mecánica, pero sus componentes internos, como válvulas, sensores, y dispositivos eléctricos y electrónicos se encuentran deteriorados, requiriendo un cambio para mejorar el correcto funcionamiento del autoclave.



Figura 1. Autoclave CONSOLIDATED STILLS & STERILIZERS

Se tienen elementos que no forman parte de la infraestructura, estos elementos se usan sólo como comprobantes del proceso completo de esterilización. El más utilizado son las llamadas cintas de testigo, estas se colocan alrededor de los paquetes, envolviendo de esta manera el material a esterilizar, una vez que se cumple el tiempo de esterilización que comprueba el éxito de la esterilización mediante las rayas negras que toman ese color al alcanzar la temperatura adecuada como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Cinta de testigo en los paquetes de esterilización

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El hospital Naval de Esmeraldas ha solicitado una propuesta de diseño para adecuar la autoclave, que después de una evaluación requiere de una mejor monitorización. Se han determinado puntos clave para mejorar el funcionamiento del equipo, además de modernizar y actualizarlo, esta repotenciación mejorará las pérdidas de temperatura que se están presentando actualmente.

Se mejorará el sistema de condensados para evitar la acumulación presente. Se cambiarán las tuberías, accesorios, válvulas como solenoides, checks, válvulas de paso y filtros que están produciendo un desperdicio de agua.

El gobierno está invirtiendo en la salud y se esmera por hacer cumplir normas y estándares en cuanto a la venta instalación y mantenimiento de los equipos médicos, se requiere de personal capacitado y certificado para brindar este tipo de servicio.

Este proyecto pretende dar una solución al Hospital Naval de Esmeraldas proponiendo un diseño moderno, automatizado, más amigable al usuario y que permita mejorar el funcionamiento de la autoclave actualizando el sistema control de temperatura y proponiendo una solución para reducir el desperdicio de agua.

El mejoramiento en cuanto al monitoreo se realiza con el fin de poder supervisar el funcionamiento, donde se pueda visualizar los ciclos de la autoclave con el fin de poder programar los mantenimientos preventivos que requiere con frecuencia el equipo, en base a los datos obtenidos de los ciclos diarios, semanales y mensuales de esterilizaciones realizadas por la autoclave.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Realizar la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización de la autoclave consolidated stills & sterilizers modelo sr24-dmcv.

1.3.2 Específicos

- Analizar el estado de la autoclave, realizando el estado del arte del equipo dentro de la industria médica.
- Determinar el sistema de control apropiado para el sistema de esterilización.
- Desarrollar la ingeniería conceptual básica y de detalle de la autoclave consolidated stills & sterilizers que cumpla con todas las normas establecidas por las organizaciones INEN Y ASME
- Desarrollar el sistema de supervisión y monitoreo de los ciclos del proceso de esterilización.
- Establecer un mecanismo para evitar el desperdicio de agua
- Proponer ciclos que contribuyan a la reducción del tiempo de mantenimientos preventivos/correctivos.
- Incrementar una etapa de vacío que optimice la eliminación de aire
- Evaluar con simulaciones el funcionamiento de cada elemento durante las etapas de cada ciclo de esterilización.

1.4 DESCRIPCIÓN Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

1.4.1 Descripción

El equipo, requiere de manera general, una mejora no solo en lo que corresponde al aspecto físico, dispositivos mecánicos y eléctricos, sino también en el funcionamiento de control de los ciclos de esterilización. Esto se realizará abordando el trabajo conjunto del proceso en cuanto a la instrumentación y el respectivo sistema de control.

El sistema de instrumentación actual requiere un cambio en sus elementos tales como sensores que permiten obtener datos de las variables que intervienen directamente en el proceso, es decir presión y temperatura, y en los actuadores, que aunque forman parte del sistema de control, también requieren de cambio debido al deterioro que presentan las tuberías y válvulas existentes en la autoclave.

La parte de control, como se ha mencionado anteriormente, comprende principalmente a los actuadores quienes serán los encargados de descifrar el estado de las variables de entrada y tomar las respectivas decisiones para controlar las variables del proceso.

En la comunicación, se realizará el envío y procesamiento de datos utilizando un protocolo que permita transmitir y recibir los datos de manera correcta y eficiente entre los elementos que hacen parte de la instrumentación y el controlador encargado de efectuar las acciones correspondientes sobre el proceso.

1.4.2 Requerimientos técnicos del proyecto

La autoclave Consolidated se encuentra en buenas condiciones físicas, sin embargo, se proyecta a ser dado de baja debido al tiempo de vida útil de los elementos que intervienen en el mecanismo del equipo. Después de una evaluación del equipo se ha concluido que con una repotenciación de elementos internos de la autoclave y basados en que la estructura física se encuentra en muy buenas condiciones, con un cambio de elementos analógicos por digitales y un mejoramiento en los dispositivos de control, no

solo se mejorará el funcionamiento de la autoclave si no que se extenderá el tiempo de vida útil del equipo ahorrando costos para el hospital público, y evitando desechar un buen equipo de gran utilidad en el hospital.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA CONCEPTUAL

2.1 Sistema de generación de vapor

Como se ha mencionado anteriormente, el método requerido para la esterilización, es mediante vapor. Este suministro de vapor, en el caso de los hospitales, y específicamente para el hospital naval de esmeraldas, se realiza a través de instalaciones que generan el vapor, a las cuales se les denomina calderas, de esta manera el vapor que se produce es transportado por tuberías hacia los equipos, hasta cualquier sitio en la planta, y así se ingresa el vapor directamente al autoclave.

En el proceso de generación y distribución de vapor intervienen 4 componentes principales, la o las calderas, los cabezales, las tuberías principales y los ramales de vapor. Cada uno de estos componentes contribuyen para que el vapor que es entregado en cada área de servicio que lo requiere, sea el más puro, sin importar el área que lo necesita debe cumplir con los estándares más altos de calidad, esto con el fin de sobre guardar el correcto funcionamiento de los equipos, entendiéndose que el autoclave es el equipo que se vería más afectado en el caso de no cumplir con la calidad necesaria, no solo porque podría deteriorar internamente el equipo sino porque los elementos esterilizados son utilizados en intervenciones quirúrgicas y en este caso estaría involucrada la vida humana.

2.1.1 Calderas

Una caldera es un aparato de transferencia térmica que convierte combustible fósil, energía eléctrica o nuclear, a través de un medio de trabajo como agua, o fluidos

orgánicos, y así dirige esta energía hacia algún aparato externo de transferencia de calor, como los utilizados para calefacción de edificios o de utilización en proceso. Esta energía puede también convertirse para producir energía mecánica (con motores de accionamiento mecánico) (Kojan, 2000). En la figura 3 puede observarse las dos calderas con las que cuenta el área de mantenimiento del Hospital Naval de Esmeraldas, y que se conectan directamente al cabezal de distribución.



Figura 3. Calderas del área de mantenimiento del hospital Naval de Esmeraldas

2.1.2 Los cabezales

Se trata de una tubería principal, que tiene la capacidad de recibir vapor de una o varias calderas al mismo tiempo y a su vez cuenta con salidas para realizar la distribución. Lo más común es que sea una tubería horizontal, como se indica en la figura 4. En la parte izquierda se encuentra la alimentación de vapor que viene de las dos calderas, del área de mantenimiento y en la parte derecha se encuentra las tuberías que transportan el vapor generado por las calderas a las distintas áreas que lo requieren, área de esterilización, área de lavandería, cocina y habitaciones del hospital.

Finalmente, el cabezal debe tener su respectiva trampa para evitar el paso de cualquier sustancia indeseable hacia las tuberías de distribución, procurando la pureza del vapor entregado.



Figura 4 Cabezal del Hospital Naval de Esmeraldas

2.1.3 Tuberías principales

La red de distribución de vapor, junto con las reguladoras de presión y temperatura, constituye la parte central de una instalación para la generación de vapor; como se indica en la figura 5, es la encargada precisamente de conducir el vapor generado en la caldera hacia los diferentes puntos de demanda existentes en el proceso industrial.



Figura 5. Tuberías principales

2.1.4 Los ramales de vapor

Son aquellas tuberías, que se conectan a las tuberías principales. El sistema se completa con este último componente encargado de entregar el vapor hacia los equipos que lo demandan. Para el caso de la autoclave, estas tuberías se encuentran en la parte trasera del equipo como se indica en la figura 6.



Figura 6 Ramal de ingreso de vapor a la autoclave.

2.2 Válvulas

Una válvula es aquel dispositivo mecánico que permite realizar el paso de fluidos, es decir, controlar el inicio, fin o controlar la regulación del transporte de gases o líquidos. El control del paso del fluido se realiza mediante una pieza que puede abrirse, cerrarse u obstruir conductos internos de la válvula. Existen varios tipos de válvula, las cuales se diferencian en el modo en que internamente cierran el paso del líquido o gas y el tipo de material con el que están construidas.

2.2.1 Válvula check

Previenen el retorno de flujo en las tuberías. Estas válvulas reaccionan automáticamente a los cambios de dirección de flujo. Estas pueden ser de cierre rápido y de cierre lento. Las válvulas de cierre lento se caracterizan por abrir lentamente y evitar la sobrepresión al iniciar su operación, pueden estar equipadas con control de velocidad para la apertura y cierre, en la figura 7 se indica un tipo de esta válvula. (OPS/CEPIS, 2005)

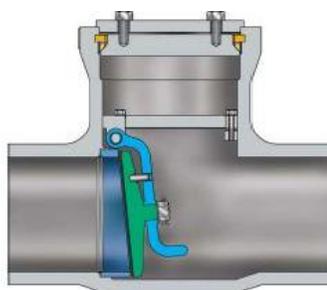


Figura 7 Válvula Check

Fuente: (Lubosa, s.f.)

2.2.2 Válvula dredge o de limpieza

Las válvulas de desagüe y limpieza o mejor dicho las cámaras de desagüe y limpieza, se disponen en los puntos bajo, distanciadas unas de otras en no más de 3.000 metros, con el fin de permitir el desagüe de la tubería en cada sector, en caso de tener que vaciar algún tramo, ya sea por razones de limpieza, operativas o por alguna rotura sufrida en algún sector. La figura 8 muestra un esquema de dichas cámaras. (Orellana, 2005)

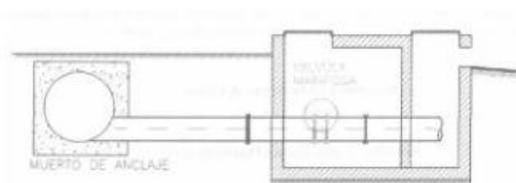


Figura 8 Válvula de dredge

Fuente: (Orellana, 2005)

2.2.3 Válvula mariposa

Esta válvula es apropiada para trabajar en línea y como válvula de seguridad para casos de emergencia. Es muy utilizada en conducciones forzadas en las centrales eléctricas y en la figura 9 se indica su estructura física. (Hard, 2012)

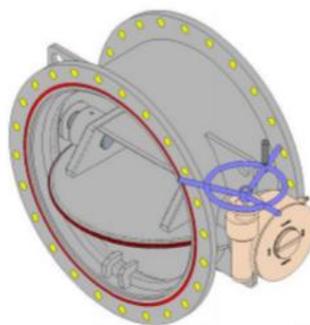


Figura 9 Válvula de mariposa

Fuente: (Hard, 2012)

2.2.4 Válvula de bola.

Son válvulas con mecanismos de llave de paso que sirven para regular el flujo de un fluido, se caracteriza por el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma esférica perforada como se indica en la figura 10.

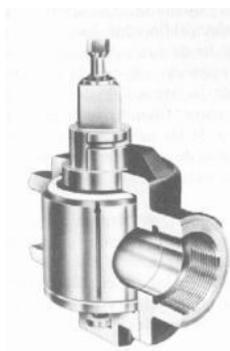


Figura 10 Válvula de bola

Fuente: (Orellana, 2005)

2.3 Sistema de instrumentación

Este sistema se compone de todos aquellos elementos que son utilizados para medir y controlar variables directa o indirectamente. Para el caso de la medición, se tienen sensores mecánicos y electrónicos, utilizados para registrar la medición de las diferentes variables y ayudan a que se realice las acciones correspondientes por parte de los elementos actuadores.

2.3.1 Sensores de temperatura

Son elementos que se encuentran directamente en contacto con la magnitud física, cuando hay interacción entre el sensor y la temperatura logra producir cambios en sus propiedades, en algunos sensores de temperatura se altera la resistencia, que a medida que varía el valor de temperatura varia de igual forma, proporcionalmente, el valor de resistencia eléctrico. En el área electrónica el parámetro físico más influyente sobre los circuitos eléctricos, específicamente sobre los dispositivos y conexiones, es esta magnitud, porque afecta directamente el comportamiento de algunos elementos y para el desarrollo del proyecto será una medida importante ya que el funcionamiento básico de la autoclave se basa en el control de este parámetro.

Actualmente existen diversos sensores de temperatura que pueden clasificarse dentro de 3 clases principales, diferenciándose entre estas por sus propiedades a la hora de interpretar los datos de temperatura. La clase más antigua y que aún puede encontrarse en algunos equipos, es la detección de temperatura mediante expansión térmica, en esterilizadores más antiguos, normalmente pueden encontrarse termómetros en la parte frontal de estos equipos, solo como medio de visualización ya que no tiene la capacidad de registrar datos.

Otro tipo de sensores son los que cambian el valor de resistencia proporcionalmente en función del cambio de temperatura llamados RTD. En muchas ocasiones su

resistencia varia linealmente, y también puede variar de manera positiva o negativa dependiendo del comportamiento de la resistencia al aumentar la temperatura, NTC para el caso en el que la resistencia disminuye y PTC si la resistencia aumenta a medida que también lo hace la temperatura.

Los termistores son otro tipo de sensor termo resistivo, y a pesar de que este arroja un cambio de resistencia con la temperatura mayor que el DTR, su comportamiento no es lineal y para poder alcanzar ese comportamiento debe usarse una combinación de varios termistores, por lo que en la industria de la esterilización es más utilizado los sensores PT100

Por último, pero no menos importante, se encuentran los sensores termoeléctricos, denominados termopares que basan su funcionamiento en el flujo de corriente que se produce entre dos metales diferentes, teniendo como desventaja el tener que evitar corrientes de inducción de fuentes cercanas que pudieran afectar las mediciones.

2.3.1.1 RTD

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado "coeficiente de temperatura de resistencia" que expresa, a una temperatura específica, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura. (Creus, 2010)

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \text{ Ecuación (1)}$$

En la que:

R_t = resistencia en ohmios a t °C.

R_0 = resistencia en ohmios a 0 °C

α = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0 °C y 100 °C es de $0.003850\Omega/(\Omega/^\circ\text{C})$ en la (ITS-68).

El platino es el metal más usado como sonda del sensor, en la industria se utiliza el PT100, el cual tiene una resistencia de 100 Ω cuando hay 0°C y responde rápidamente a las variaciones de temperatura. El platino tiene un mayor intervalo de temperatura, es altamente lineal y mucho más estable que otros metales. En la tabla 1 se presenta las características de sondas de resistencias, ventajas y desventajas de estas. (Creus, 2010).

Tabla 1.
Características de sondas de resistencia

Elemento	Intervalo útil de temperaturas °C	Resistencia Básica	Sensibilidad $\Omega/^\circ\text{C}$ de 0 a 100 °C	Coefficiente $\Omega/\Omega \times ^\circ\text{C}$	Ventajas	Des- ventajas
Platino	-260 a 850 °C (-436 a 1562 °F)	100 Ω a 0 °C 1000 Ω a 0 °C	0,39 3,90	0,0375 a 0,003927	Mayor intervalo Mayor estabilidad Buena linealidad	Coste
Cobre	-100 a 260 °C (-148 a 500 °F)	10 Ω a 25 °C	0,04	0,00427	Buena linealidad	Baja resistividad
Níquel	-100 a 260 °C (-148 a 500 °F)	100 Ω a 0 °C 120 Ω a 0 °C	0,62 0,81	0,00618 a 0,00672	Bajo costo Alta sensibilidad	Falta de linealidad Variaciones en coeficiente de resistencia
Níquel - Hierro	-100 a 204 °C (-148 a 400 °F)	604 Ω a 0 °C 1000 Ω a 70 °F 1000 Ω a 0 °C	3,13 4,79 9,58	0,00518 a 0,00527	Bajo costo Alta sensibilidad	Relación reducida R100/Ro

Fuente: (Creus, 2010)

La forma más simple de medir la temperatura del proceso, mediante una sonda de resistencia, es hacer pasar una corriente por la sonda, lo que dará lugar a una caída de

tensión. Se disipa calor en la sonda y su calentamiento aumenta la resistencia. Además, las resistencias de conexión entre el polímetro y la sonda alteran la medida de la resistencia de la sonda como se puede ver en la figura 11.

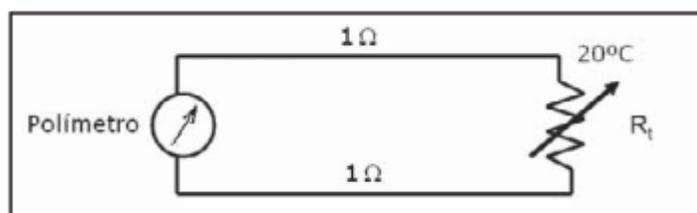


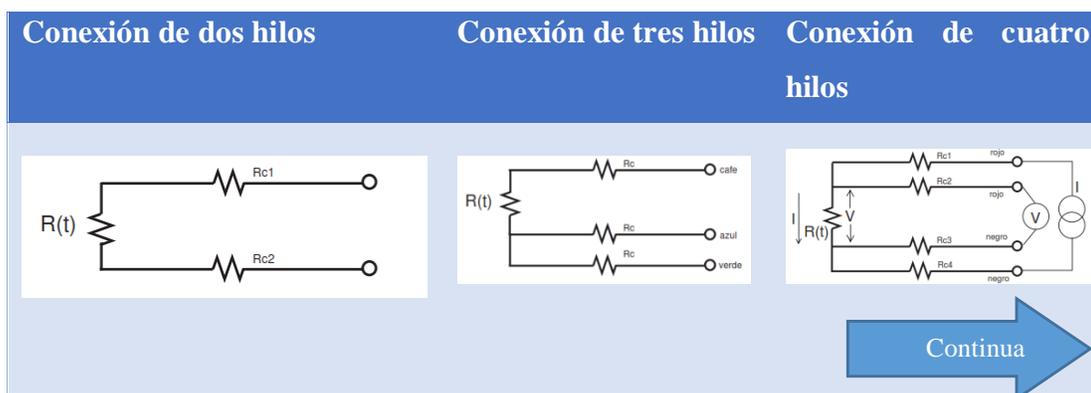
Figura 11 Método simple de medir la temperatura del proceso

Fuente: (Creus, 2010)

Las sondas de resistencia se conectan a puentes de Wheatstone convencionales a otros circuitos digitales de medida de resistencia. El puente está dispuesto en montajes denominados de dos hilos, de tres hilos o de cuatro hilos, según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente, el objetivo es establecer exactamente la resistencia eléctrica del sensor sin que afecte los valores de las resistencias de los cables, evitando error en la lectura. En la tabla 2 se presentan características de las conexiones con el fin de escoger la más adecuada.

Tabla 2.

Tipos de conexión del PT100



El más sencillo de los 3 pero el menos recomendado	Es el más común	El más preciso, pero más costoso
Las resistencias de los dos cables generan error	Soluciona de gran manera el error generado por los cables.	No genera error, se corrige con un voltímetro de alta impedancia
El lector medirá el total $R(t)+R_{c1}+R_{c2}$ en lugar de $R(t)$	Requisito que los 3 cables tengan la misma resistencia.	Cables pueden tener diferente resistencias

2.3.2 Sensores de Presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal. En la industria, comúnmente, la presión que mide los instrumentos se registra en presión absoluta o diferencial.

Existen varios tipos de presión. La presión absoluta se mide con relación al cero absoluto de presión. La presión atmosférica es la ejercida por la atmosfera terrestre medida mediante un barómetro. La presión relativa es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica. La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones de dos puntos diferentes. El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta. (Creus, 2010)

2.3.2.1 Elementos mecánicos

Se dividen en Elementos Primarios de Medida Directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro

cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana), y Elementos Primarios Elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen. (Creus, 2010)

2.3.2.2 Elementos electromecánicos

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos. Resistivos, Capacitivos, Magnéticos, Extensométricos y Piezoeléctricos. (Creus, 2010)

2.3.2.3 Elementos resistivos

Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia, como se indica en la figura 12. (Creus, 2010)

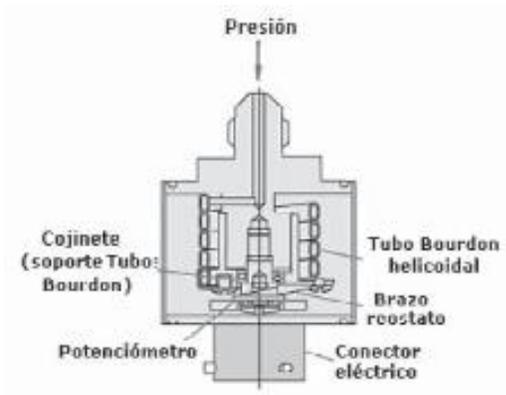


Figura 12 Transductor Resistivo

Fuente: (Creus, 2010)

- **Elementos de inductancia variable**

Los elementos de inductancia variable utilizan el transformador diferencial variable lineal (LVDT) que proporciona una señal en c.a. proporcional al movimiento de una armadura de material magnético situada dentro de un imán permanente o una bobina que crea un campo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es, por tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil, en la figura 13 puede apreciarse el transductor variable con el respectivo transformador. (Creus, 2010)

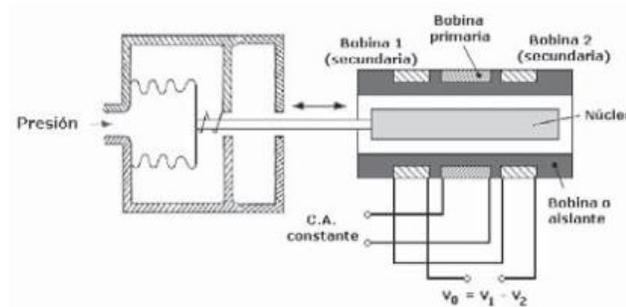


Figura 13. Transductor de inductancia variable

Fuente: (Creus, 2010)

- **Transductor de reluctancia variable**

Los elementos de reluctancia variable se basan en el desplazamiento mecánico, debido a la presión, de un núcleo magnético situado en el interior de una o dos bobinas.

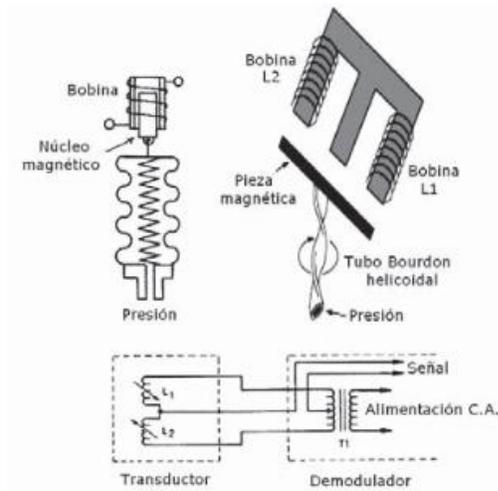


Figura 14 Transductor de reluctancia variable

Fuente: (Creus, 2010)

Estas bobinas están conectadas a un puente de c.a y la tensión de salida es proporcional a la presión del fluido. El sensor está conectado a un puente alimentado por una tensión alterna de frecuencias entre 1 KHz a 10KHz. La variación de reluctancia magnética produce una modulación de inductancia efectiva que es función de la presión del fluido. En la figura 14 se indica los componentes internos de este tipo de transductor. (Creus, 2010)

- **Transductor de reluctancia variable**

Los elementos capacitivos se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. En la figura 15 puede observarse las placas y el diafragma con junto con la parte de oscilación de frecuencia. (Creus, 2010).

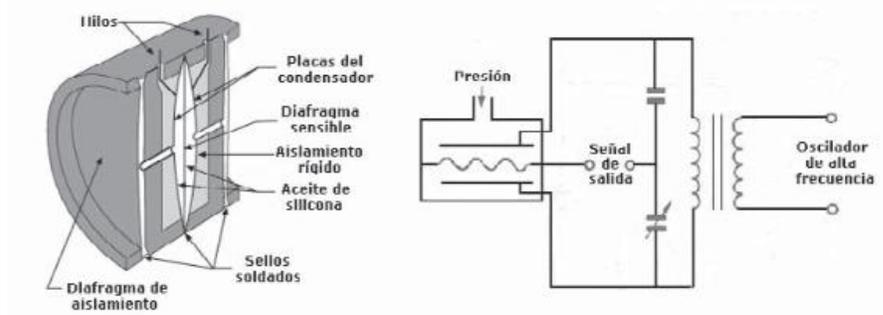


Figura 15 Transductor Capacitivo

Fuente: (Creus, 2010)

2.4 Sistemas de control

Un sistema se compone de varios elementos que actúan conjuntamente para cumplir un mismo objetivo, los sistemas de control se diseñan con el fin de ejecutar trabajos puntuales que incrementen la eficiencia en los procesos es decir que sean más veloces en cuanto a respuesta, faciliten la función del operario y minimice probabilidades de error.

En un sistema de control intervienen varios elementos que contribuyen con el funcionamiento de un proceso determinado. Existen dos tipos de variables fundamentales, la variable controlada, es decir la salida, que se mide constantemente y se controla luego de realizar la acción de control pertinente y la variable manipulada que es la cantidad o condición que el controlador cambia con el fin de alterar el valor de la variable controlada.

Una planta puede ser una parte de un equipo, un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular, es cualquier objeto físico que se desea controlar. (Ogata, 2010)

El proceso es una actividad que se ejecuta de manera continua, donde puede darse perturbaciones, es decir actividades que afectan la salida que se quiere controlar. Por

ejemplo para el caso de la autoclave, la perturbación será toda aquella señal que impida mantener la temperatura en 121 °C durante el ciclo de esterilización.

Como solución de control sobre estas perturbaciones, se cuenta con la realimentación en el sistema que realiza una operación entre la salida actual y una entrada de referencia. Existen dos clases de sistemas de control, en lazo abierto y lazo cerrado.

2.4.1 Sistemas de control en lazo cerrado

Un sistema de control cerrado es aquel en donde interviene los datos de la salida provocando una realimentación en el sistema, es decir, la salida retorna como una señal de entrada al sistema haciendo más efectiva la intervención del controlador.

De este modo se mantiene una constante comparación entre la entrada y la salida esperando que el error sea minimizado. En la figura 16 se muestra los componentes de este tipo de sistema y la realimentación de la salida como entrada al controlador.

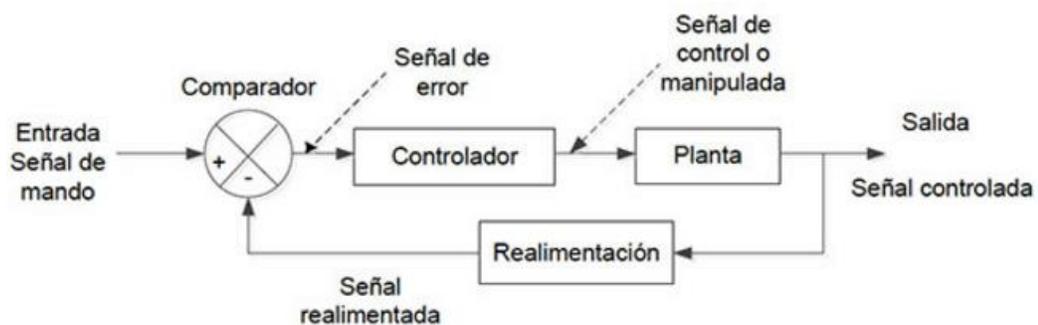


Figura 16 Sistema de control en lazo cerrado

Fuente: (Ogata, 2010)

2.4.2 Sistema de control en lazo abierto

Un sistema de control en lazo abierto es lo contrario al sistema de control en lazo cerrado, es decir, es aquel en donde no interviene los datos de la salida así que no hay realimentación en el sistema, lo que provoca que no haya un constante monitoreo de la salida para reducir el error y dependa directamente de la calibración inicial del sistema.

Este tipo de control se considera secuencial ya que se sigue una rutina determinada, como ejemplo podemos observar el funcionamiento de una sanduchera, sube automáticamente a una temperatura deseada para calentar el pan pero cuando llega a esta temperatura solo activa un led para informar al usuario que ya está listo, y automáticamente se desenergiza para no seguir calentando, pero mientras disminuye la temperatura puede seguir calentando el pan y llegar a quemarlo si el usuario no lo saca a tiempo.

El sistema de la sanduchera no está revisando constantemente la consistencia del pan sino que en cuanto acaba el tiempo programado deja de calentar sin revisar el estado del producto final. En la figura 17 se muestra los componentes de este tipo de sistema sin el lazo de retroalimentación



Figura 17 Diagrama en lazo abierto

Fuente: (Ogata, 2010)

2.5 Descripción de las autoclaves

Las autoclaves están destinadas a esterilizar instrumentos, indumentaria gasas, algunos modelos también cuentan con ciclos de esterilización de líquidos, proceso que requiere de un mayor cuidado debido a los daños que podría provocar un error en la disminución de la presión dentro de la cámara, como el de estallar las botellas o incluso ocasionar derrames.

Pueden tener también la opción de modificar datos preseleccionados de temperatura y tiempo en el caso de esterilizar otro tipo de material además de los programas de prueba para comprobar el estado de la cámara antes de iniciar cualquier proceso de esterilización.

Antes de describir la autoclave del proyecto, se presentan dos tipos de autoclave con sus características más relevantes, esto con el fin de conocer las capacidades con las que cuentan los actuales esterilizadores ya que el equipo de Consolidated es el más básico debido a su antigüedad.

Como ejemplo se tomara la marca Tuttnauer y la marca Celitron, las dos cuenta con una gran gama de modelos diferenciándose entre ellos principalmente por el volumen de la cámara, es decir sus dimensiones y capacidad en litros, cabe resaltar que incluso dentro de la misma marca hay una gran cantidad de modelos que solo varían en la capacidad de la cámara y en la visualización de su interfaz gráfica.

Una vez expuestas las principales características tomadas como ejemplos de autoclaves modernas que se indican en la tabla 3, además se podrán observar las imágenes desde una perspectiva frontal de cada una de estas en la figura 18.

Tabla 3.**Características de autoclaves**

Autoclaves: Marca	TUTTNAUER	CELITRON
Modelo	Serie T-Max 10	Azteca A-6615
Rango de temperatura	105°C a 137°C 221°F a 137°C	121°C y 134°C
Puertas	Simples o dobles, automáticas	1 o 2, correderas verticales
Chaqueta	Acero inoxidable grado 316L	Acero inoxidable 316L
Volumen de la cámara	610 litros	690 litros
Dimensiones de la cámara	660 x 710 x 1295	660 x 660 x 1590
Peso aproximado		1250 kg
Pantalla	Táctil, multicolor Visualización gráfica de tendencia de presión y temperatura.	Táctil LCD 5.7 Gráficos en color
Ciclos programados	12 ciclos: instrumental no envuelto: 3, instrumental envuelto y paquetes 4, 3 ciclos con descompresión lenta, 2 programas de prueba: Bowie Dick	6 ciclos: rápido 134°C, instrumental no envuelto 134°C, instrumental envuelto 134°C, priones 134°C, porosa 121°C, test BD, test de vacío
Impresora:	Impresión de: ciclo en tiempo real	Comunicación para PC, conexión para realizar impresiones
Suministro de vapor	Generador integrado	Se pueden equipar con generadores internos

Fuente: (TUTTNAUER, 2016), (Celitron, 2016)

AUTOCLAVE MARCA TUTTNAUER



AUTOCLAVE MARCA CELITRON

**Figura 18 Vista frontal de las autoclaves**

Fuente: (TUTTNAUER, 2016), (Celitron, 2016)

Existen muchas marcas de fabricación de autoclaves, cada una con una variedad de modelos para solventar los requerimientos de los clientes. El principio de funcionamiento puede variar en tres aspectos, como lo son: en la generación del vapor, en el sistema de control y en la interacción entre el operador y el equipo.

En la generación de vapor dentro de la cámara, algunas autoclaves disponen de ingreso de agua para generar el vapor, otras cuentan con generador de vapor individual y otras, como el caso de la autoclave del proyecto dispone de una válvula de ingreso de vapor para ser abastecido por las calderas que dispone el hospital Naval de Esmeraldas.

El sistema de control también puede variar en los modelos de autoclaves más antiguos en los que se realiza a través de elementos mecánicos y dispositivos electrónicos como microcontroladores a diferencia de los más modernos que utilizan controladores lógicos programables PLC. Por último las pantallas difieren en el modo de acceso que puede ser táctil o como la pantalla del Consolidated acompañada de un teclado para la navegación a través menú.

2.5.1 Especificaciones de funcionamiento de la autoclave Consolidated

En la tabla 4, se indican los parámetros técnicos para el funcionamiento de la autoclave que será repotenciado.

Tabla 4.

Parámetros técnicos de la autoclave marca Consolidated

Presión nominal	0.21 MPa (30.46)
Temperatura nominal	134°C
Presión de ingreso de vapor	0.30Mpa – 0.50Mpa (43.5 - 72.52)
Presión de aire comprimido	0.50Mpa - 0.70Mpa (72.52 – 101.5)
Parámetros de presión de válvulas de seguridad de cámara y camisa	Presión de abertura: 0.31Mpa (45) Presión de cierre: 0.27Mpa (40)
Amplitud de los pulsos de vacío	Valor positivo: 0.03Mpa-0.16Mpa 3,6 – 23.5 (psi)
Rango de pulsos de vacío	0-99 pulsos
Rango de tiempo de esterilización	0-9999 segundos
Rango de tiempo de secado	0-9999 segundos
Cantidad de aire desfogado	Mayor al 99% con más de 3 pulsos
Alimentación eléctrica	Trifásica 220 VDC, 60 Hz
Medidas de la cámara	610 x 914 x 1220 mm (ancho, alto, fondo)
Capacidad de la cámara	680 litros
Peso de embarque (lbs/kg)	3150 lb / 1432 kg
Ciclos programados	2 ciclos: rápido y seco

Fuente: (Sterilizers, 1985)

La autoclave que se pretende automatizar en este proyecto, tiene la posibilidad de modificar los parámetros de temperatura y presión para realizar los ciclos básicos de

esterilización. Es antigua no solo en los instrumentos mecánicos y electrónicos sino también en la interacción entre el operador y la máquina ya que cuenta con un teclado.

Para realizar una mejora no solo de los procesos de los ciclos sino también en aspecto físico, se realizará una descripción de la situación actual. En la tabla 4, se indican los parámetros técnicos para el funcionamiento de la autoclave que será repotenciado.

La autoclave opera con vapor saturado como agente de esterilización, el sistema de control monitorea continuamente los parámetros a través de sensores de temperatura y presión y muestra visualmente los datos de estas mediciones en la pantalla del equipo. Inicia y controla automáticamente las condiciones que requiere cada fase del ciclo de esterilización, de despresurización y secado de acuerdo con las instrucciones pre-seleccionados.

En cuanto al ingreso del vapor, el hospital lo suministra directamente al equipo con una presión entre 50 - 80 psi, la calidad y presión del vapor determina el efecto de la esterilización por lo que también debe haber un filtro para que cumpla con la función de purificación el vapor que ingresa. Con una presión menor a 50 no se puede garantizar el funcionamiento normal de la operación y con una presión más alta puede causar que el vapor se sobrecaliente y esto afectará directamente el resultado de la esterilización, Existe una válvula que se activara para la descompresión de la tubería asegurando que la fluctuación de la presión del suministro de vapor no sea mayor al 10%.

La cámara del esterilizador es de acero inoxidable, por esta razón es recomendable no limpiar la cámara con aquellos líquidos que contengan cloruro, así como tampoco debería esterilizarse elementos cuya composición química sea cloruro o elementos que produzcan gas de cloruro, esto debido a que causa grietas, que podrían provocar fugas de vapor en la cámara. Esta sellada por juntas de silicona que son invulnerables al calor, y están ubicadas en la unión de los extremos de la autoclave.

Está equipada con una puerta manual, en el que su principio de funcionamiento se basa en un mecanismo de trabado que se activa con la presión que se genera en la cámara, esto como medio de seguridad para que no se pueda abrir la puerta mientras ocurre el proceso de presurización. Una válvula ajustable contribuye al enfriamiento de aguas residuales con el propósito de llevar la temperatura de los residuos a 140°F o si es posible a un menor valor, antes de que salga del esterilizador. Esta válvula es completamente mecánica por lo que funciona independientemente del sistema de control del esterilizador y de la fuente de alimentación. Al ser mecánica tiene como desventaja que debe ajustarse manualmente, dependiendo de la temperatura del drenaje.

Cuenta con una pantalla para mostrar el estado del sistema, el ciclo en curso, despliegue del menú y los respectivos mensajes al operador. Esto permite al operador ver toda la información del esterilizador y las opciones actuales.

Los ajustes de los parámetros, además de la fecha y la hora, se imprimen luego de finalizar cada ciclo, tiene la capacidad de llevar el conteo de los ciclos pero solo se puede ver este registro al momento de la impresión. Todos los parámetros los ingresa el operador, a pesar de que a través del menú de navegación se encuentra las opciones de 3 tipos de ciclo, al ingresar a cada uno de estos se pueden modificar los datos de temperatura y presión, de esta manera no tiene la seguridad adecuada para que siempre se realice el mismo ciclo con los mismos parámetros.

La navegación en la pantalla, así como se indica en la figura 19, se realiza través del teclado numerado del 0 a 9 y 5 teclas más que son las que dan inicio al ciclo: RUN, JACKET, una tecla de ayuda HELP, una tecla de borrado CLEAR y la tecla de aceptación ENTER.

La temperatura óptima de la chaqueta para cada ciclo viene configurada de fábrica, pero tiene la opción de edición, que puede estar a cargo del técnico que realice la instalación o por el personal del servicio. Existe el programa que controla

automáticamente el ingreso de vapor a la chaqueta y al igual que la hora de apagado. Tiene un control automático para los tiempos de camisa, de cada día de la semana que se pueden programar de manera diferente para cada uno.



Figura 19 Imagen frontal de la autoclave Consolidated

2.5.2 Esquema general de la autoclave

Las válvulas internas se describen a continuación:

- V1: válvula de entrada de vapor a la camisa,
- V2: válvula para paso de vapor de la camisa a la cámara,
- V3: válvula generadora de vacío,
- V4: válvula de ingreso de aire,
- V5: válvula de desfogue de vapor lento,
- V6: válvula para el paso de agua a la bomba de agua,
- V7: válvula de agua para el condensador,
- VS1: válvula de seguridad de sobrepresión de la camisa
- VS2: válvula de seguridad de sobrepresión de la cámara,
- VC1: Válvula check de salida de impurezas hacia el desagüe,
- VC2: Válvula check a la alimentación de agua de la bomba,
- VC3: válvula check a la salida de la bomba de agua,
- VR: Válvula reguladora de presión.
- M1: manómetros de la camisa

M2: manómetros de la cámara.

El Sistema de desfogue y vacío está conformado por el intercambiador de calor y la bomba de vacío y adicionalmente tiene 1 filtro ubicado al ingreso del aire, y un filtro en la válvula reguladora de presión.

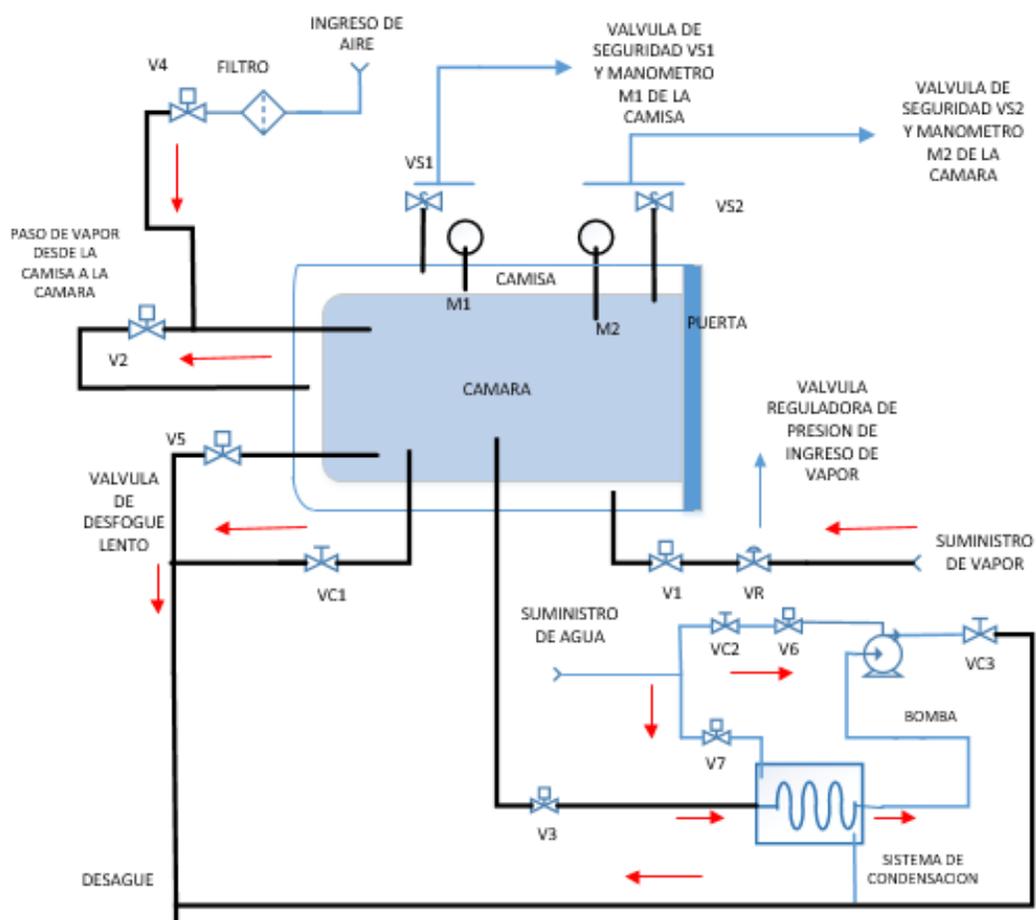


Figura 20 Esquema general de la autoclave

En la figura 21 se indica la pantalla de inicio, en la que se muestra la marca de la autoclave fecha, hora, número de cuenta de ciclos, y los datos de las mediciones actuales de los parámetros

2.5.3 Operación de la pantalla

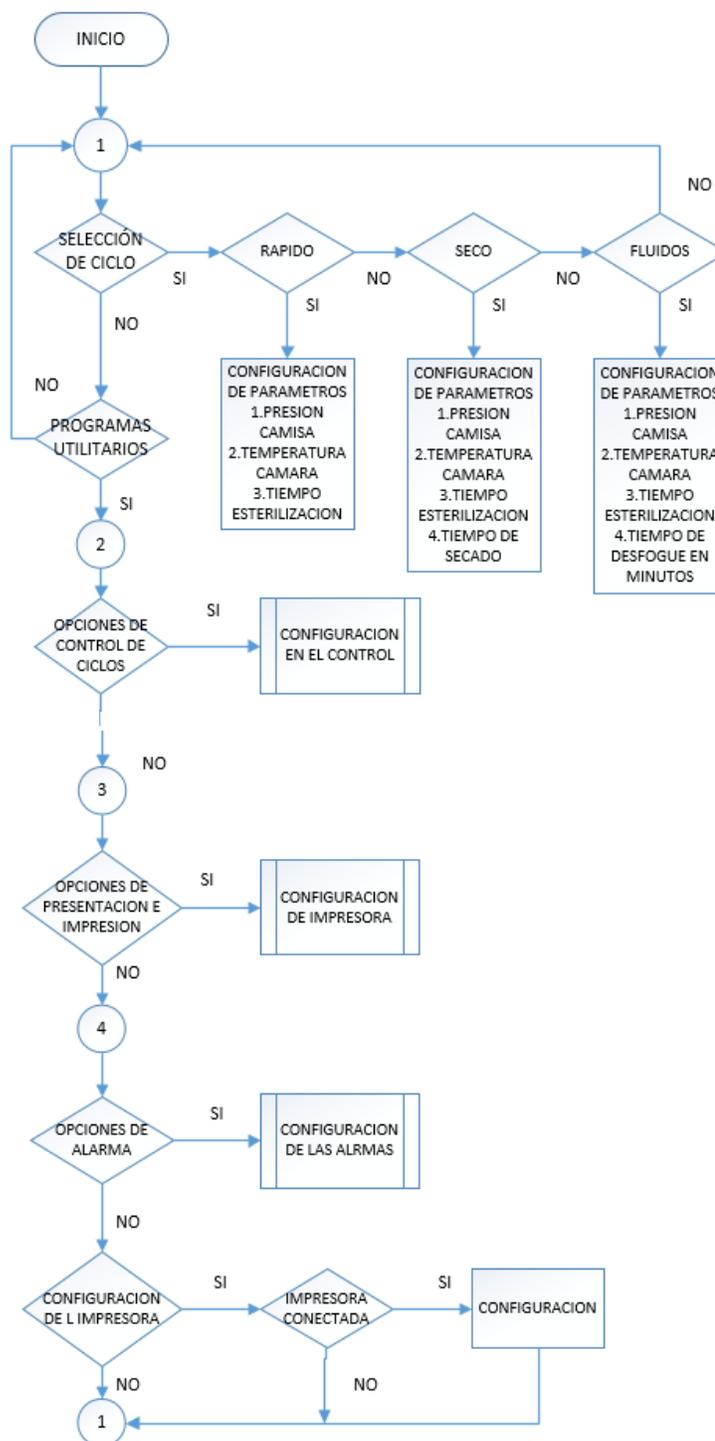


Figura 21 Diagrama de flujo de autoclave Consolidated

La figura 22 muestra el diagrama de flujo del subproceso de la configuración de la impresora, por lo tanto se configura la fecha y hora actual, el intervalo de impresión además de las unidades de los parámetros monitoreados y controlados así como la habilitación desde la el menú principal de navegación.

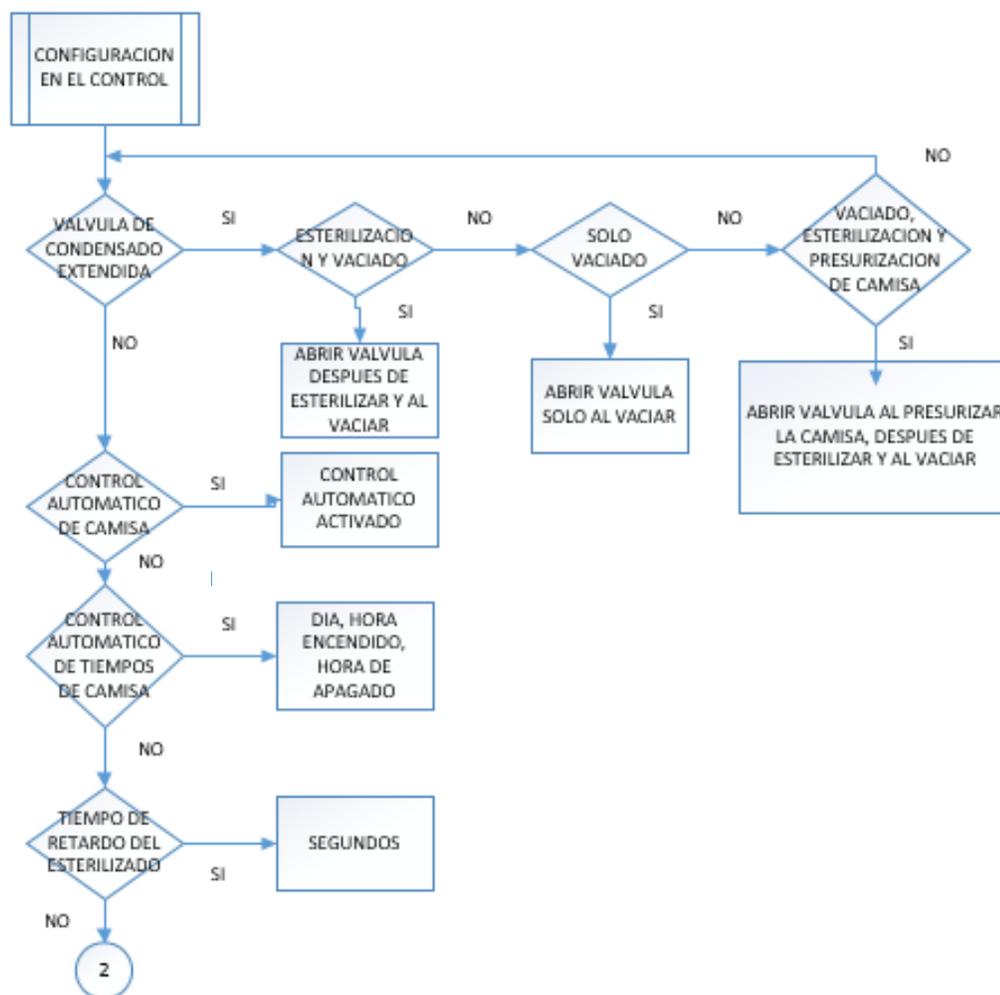


Figura 22 Subproceso de configuración de control

La figura 23 muestra el proceso en la configuración de las alarmas, no solo de sobre temperatura sino también sobre presión o sobre vacío además se puede configurar el volumen del tono y la duración del fin de ciclo para alertar al operador.

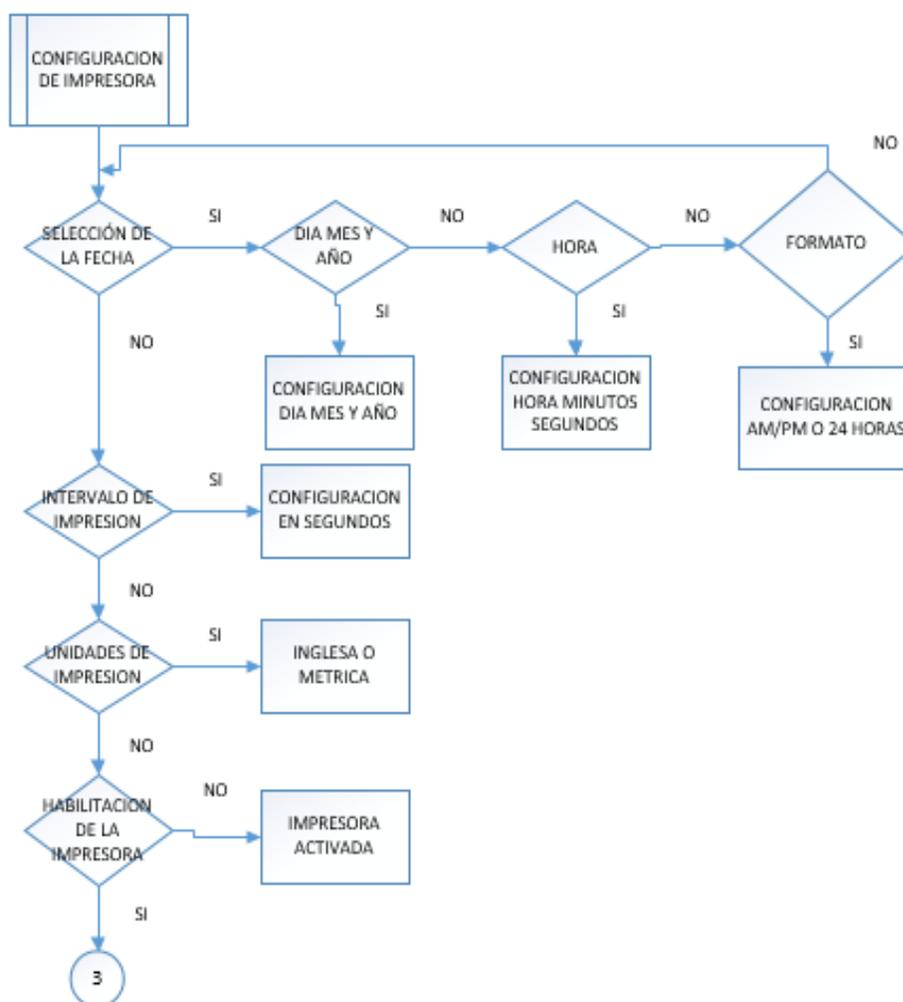


Figura 23 Sub proceso de impresora

Con esta última configuración en la figura 24 se termina la navegación a través del menú y regresando a la pantalla principal, se puede dar inicio al ciclo escogido según el material a esterilizar.

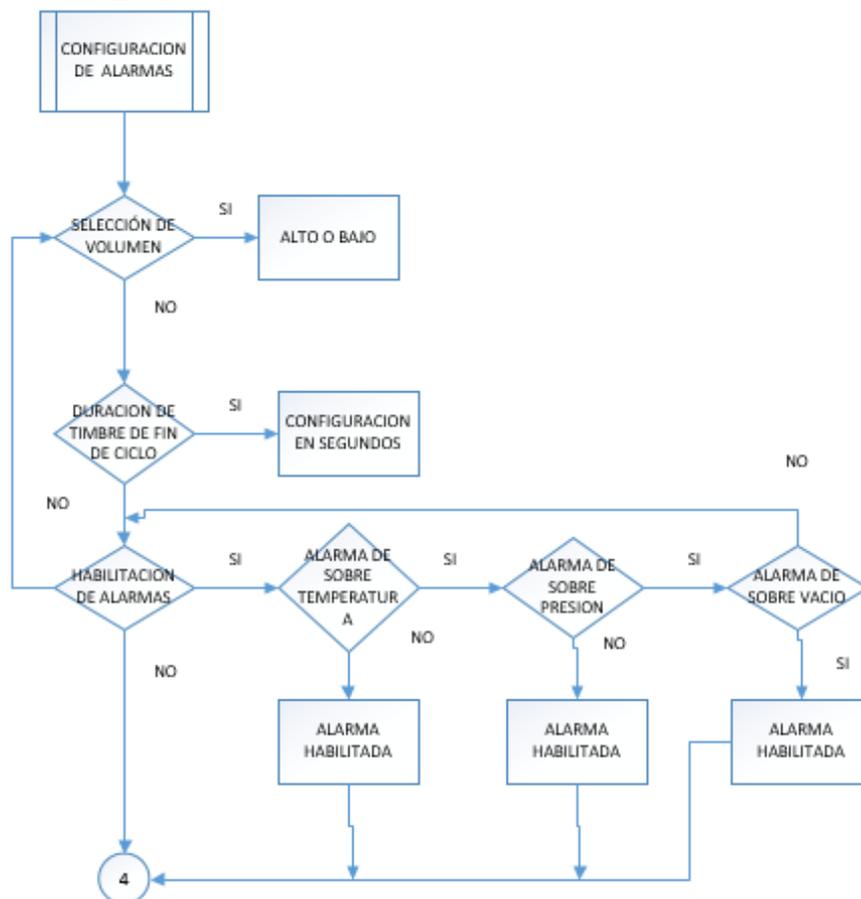


Figura 24 Diagrama de flujo del subproceso de la configuración de las alarmas

2.6 Descripción de las funciones internas

2.6.1 Bomba de vacío

La autoclave cuenta con un generador de vacío, bomba centrífuga horizontal, que está encargada de eliminar el aire durante la primera etapa y durante la etapa de desfogue, de cada ciclo de esterilización, en la primera fase para preparar la cámara, y en la etapa encargada de extraer el vapor.

Es una bomba centrífuga biturbina marca EMC modelo SCB-150, indicada para trabajar en aplicaciones que utilicen como fluido el agua u otros líquidos limpios que no sean corrosivos para los materiales con los que están construida la bomba. En la tabla 5 se encuentran las especificaciones técnicas de la bomba. En la figura 25 puede observarse la bomba de vacío que se encuentra dentro de la autoclave del hospital.

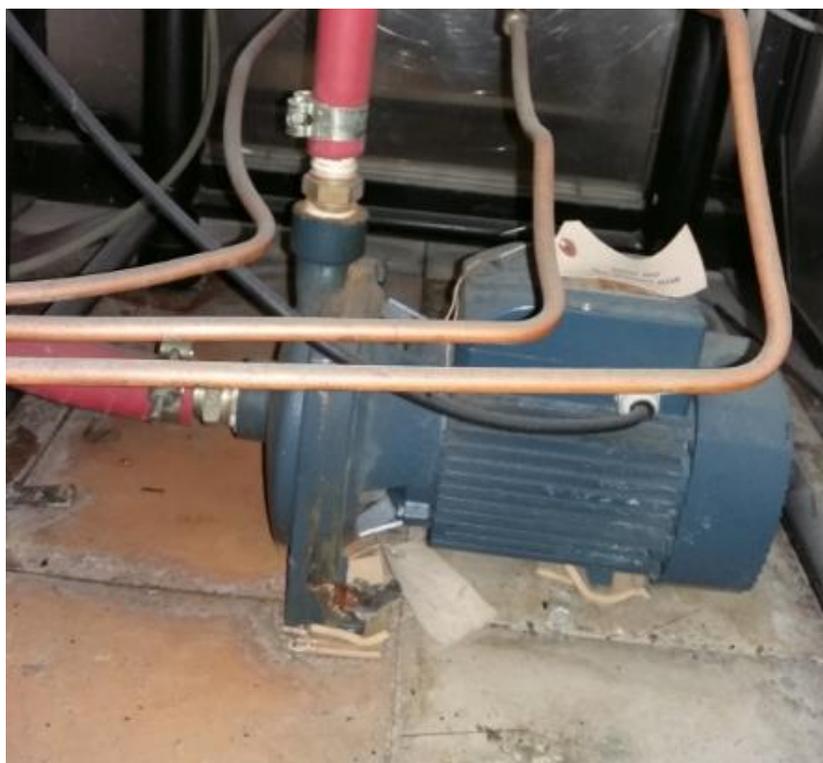


Figura 25. Bomba de vacío hospital Naval de Esmeraldas

Parte del funcionamiento de una bomba centrífuga, es el de contar con un suministro de agua con el fin de asegurar circulación de agua constantemente para evitar que se quemara el motor. Durante la fase de vacío, en el pulso inicial solo extraerá aire, y a pesar de que antes de ingresar a la bomba pasa por el condensador, las propiedades del aire no generaran agua como en el caso de la etapa de desfogue de vapor, y es por esta razón que se debe disponer de un ingreso de agua independiente.

El sistema actual cuenta con un ingreso de agua, sin filtrar, no solo para la bomba sino también para el intercambiador de calor, lo que provoca un desperdicio de agua no solo de la que se pierde después de convertir el vapor en líquido sino también el agua que se pierde al momento de usarla como medio enfriador del vapor que sale de la cámara. En la tabla 5 se indican las características de la bomba de vacío

Tabla 5.

Datos técnicos de la bomba de vacío

Presión máxima de trabajo	10 bar
Temperatura máxima de trabajo	90°C
Temperatura máxima ambiente	40°C
Profundidad máxima de aspiración	7m
Servicio	Continuo
Polos de motor eléctrico	2
Frecuencia y rpm	50 Hz - 2850 rpm 60 Hz – 3450 rpm
Alimentación	110V / 220V
Corriente	20 A / 10 A
Potencia	1.5 kW, 2 Hp
Caudal	20/130 l/min
H.max (m)	48
H.min (m)	23

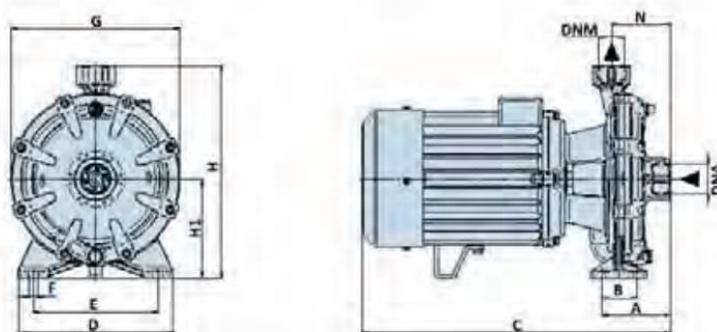
Fuente: (EMC, 2015)

La figura 26 muestra cada parte de la bomba identificada con una sigla y la media correspondiente en mm se encuentra en la tabla 6.

Tabla 6.**Dimensiones de la bomba**

A	B	C	D	E	F	G	H	H1	N	DNA	DNM	PESO(Kg)
95	50	400	208	168	10	222	265	120	85	1"4	1"	23

Fuente: (EMC, 2015)

**Figura 26 Dimensiones de la Bomba**

Fuente: (EMC, 2015)

2.6.2 Intercambiador de calor

Se encuentra ubicado al lado derecho de la autoclave, se indica en la figura 27. Este equipo tiene la finalidad de convertir el vapor que se extrae durante la etapa de desfogue en agua para que ingrese a la bomba, Dispone de dos entradas y dos salidas descritas a continuación:

Entradas:

1. Ingreso de vapor extraído de la cámara
2. Ingreso desde suministro de agua

Salidas:

3. Salida de agua del tanque al desagüe
4. Salida de agua hacia la bomba

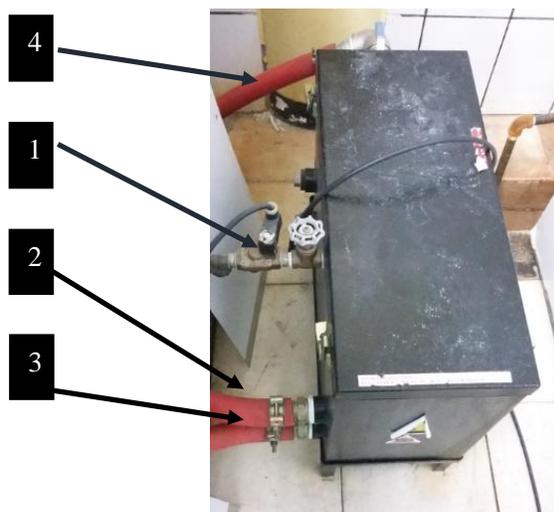


Figura 27 Tanque de agua

En la figura 28 se encuentra el diagrama que representa las válvulas y los dos equipos mencionados anteriormente con la respectiva numeración que indica las mangueras de entrada y salida del tanque de agua.

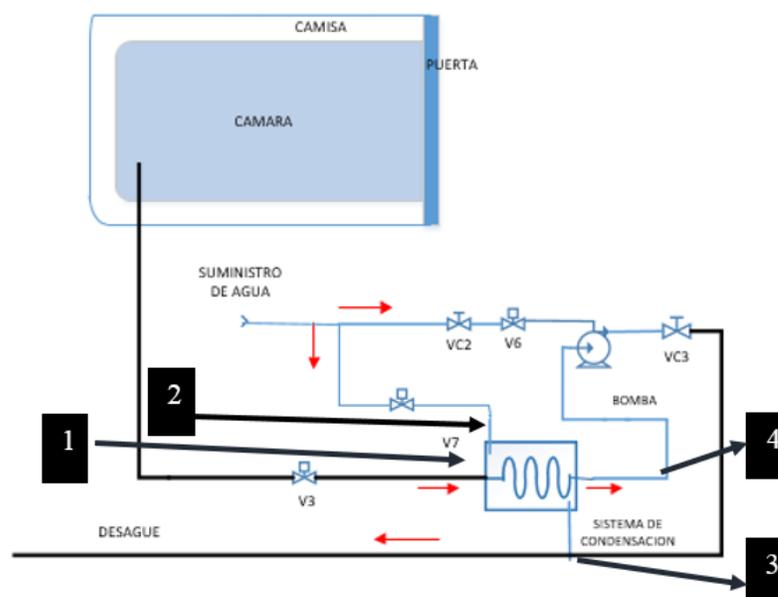


Figura 28 Sistema de bomba y tanque de agua

El ingreso de agua, para el funcionamiento de la bomba lo suministra el hospital, y pasa directamente, sin filtrar. El hecho de que no haya filtro, no afecta al proceso de esterilización directamente ya que el suministro de agua es solo para el funcionamiento de los dos equipos, pero en cuanto a la vida útil si se ve afectada ya que con el tiempo, las impurezas y residuos que pasan a través de estas tuberías pueden ocasionar daños internos.

2.6.3 Sistema de tuberías

El sistema de tuberías está compuesto por 3 tipos de válvulas: de tipo check, mariposa y de aguja. Las check o anti retorno que deben usarse en el autoclave son las de cierre lento, ya que se caracterizan por abrir lentamente y evitar la sobrepresión al iniciar su operación controlando el flujo de vapor dentro y fuera de la cámara, además también se utilizan para evitar el retorno hacia la bomba del agua condensada de la cámara al igual que el retorno de las impurezas.

Las válvulas de tipo mariposa se utilizan como medida de seguridad en casos de emergencia de sobrepresión en la cámara y en la camisa respectivamente y las válvulas de aguja se utilizan para el paso del vapor a la camisa y desde la camisa hacia la cámara; gracias a sus mecanismos de llave de paso que sirven para reaccionar inmediatamente a la abertura o cierre inmediato del paso del fluido.

2.6.3.1 Válvulas de seguridad o de alivio.

El equipo tiene dos válvulas de seguridad, ubicadas una en la camisa y la otra en la cámara. En la figura 29 se encuentra una de las dos válvulas de alivio de vapor, esta es la que está ubicada en la camisa pero es la misma clase de válvula usada para la cámara y sus principales características de funcionamiento se describen en la tabla 7.

Tabla 7.

Datos técnicos de las válvulas de seguridad

Marca	Conbraco
Modelo	Serie 19S
Tipo de tuerca	Hexagonal
Tipo de resorte	De acero inoxidable estándar
Asiento	Metal/Metal
Material de cobertura	Bronce
Certificación según ASME,	Secciones I Y VIII
Conexiones de drenaje	Roscadas
Presión de ajuste	5 – 300 Psi
Temperatura máxima	406°C
Resiste	Vibración excesiva
Anillos de control	2

Fuente: (Apollo-Valves, s.f.)

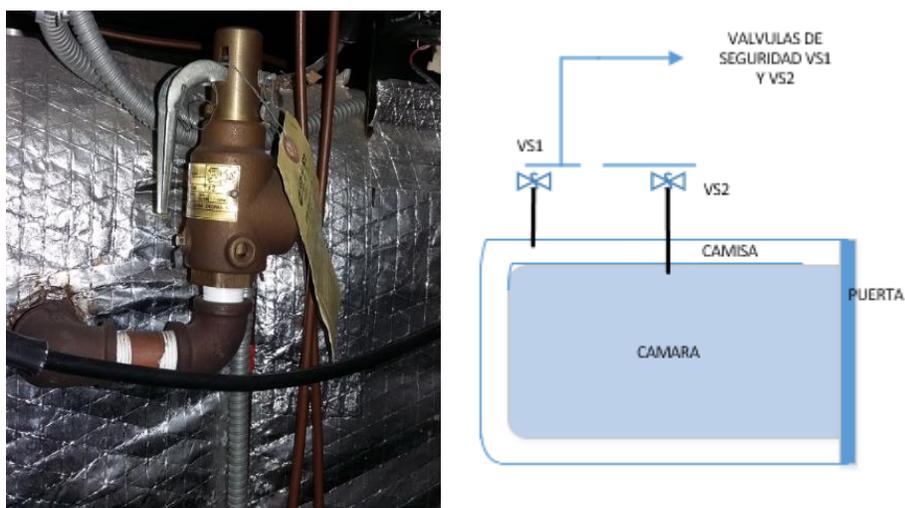


Figura 29 Válvulas de seguridad

2.6.3.2 Sistema de ingreso de vapor

El ingreso de vapor se compone de las válvulas de ingreso a la camisa, la válvula de paso de vapor de la camisa a la cámara y la válvula reguladora, no hay un filtro de vapor.

- **Válvula reguladora**

La válvula reguladora de presión VR, está diseñada para mantener la presión de ingreso de vapor en el rango de 45 psi, el vapor que ingresa viene desde la distribución principal de vapor del hospital, ubicada en el área de mantenimiento.

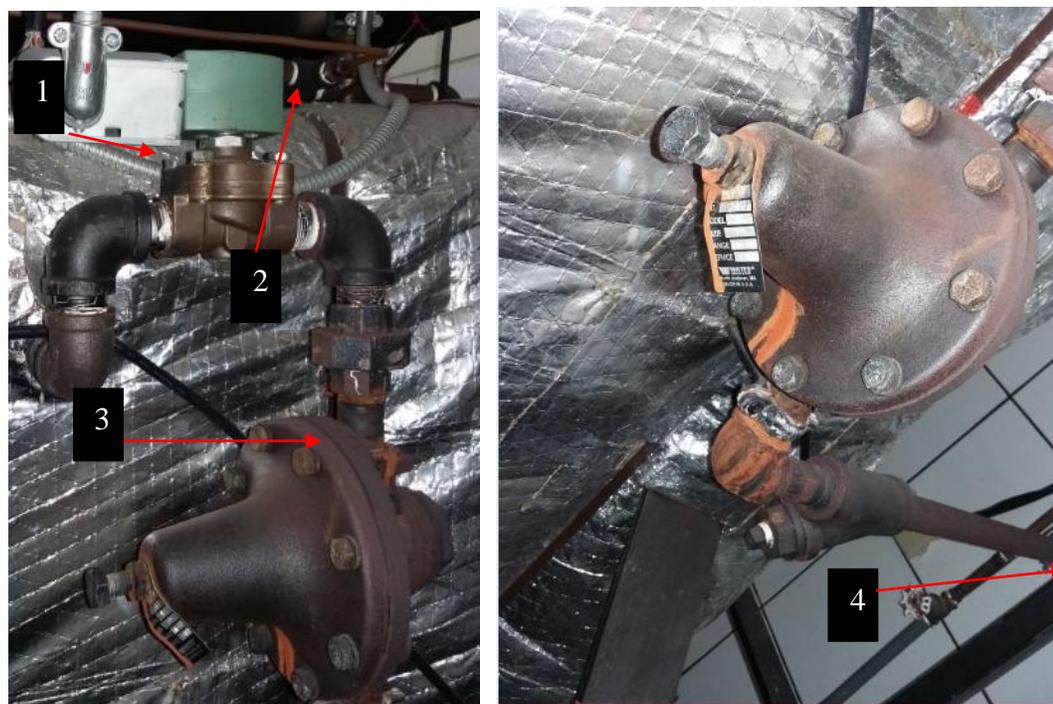


Figura 30 Válvula reguladora de presión

La figura 30 muestra el ingreso de vapor desde la tubería que está conectada desde el área de mantenimiento y su paso por la válvula antes de ingresar a la camisa al igual que

la figura 31 se representa este sistema con las respectivas conexiones a través del diagrama.

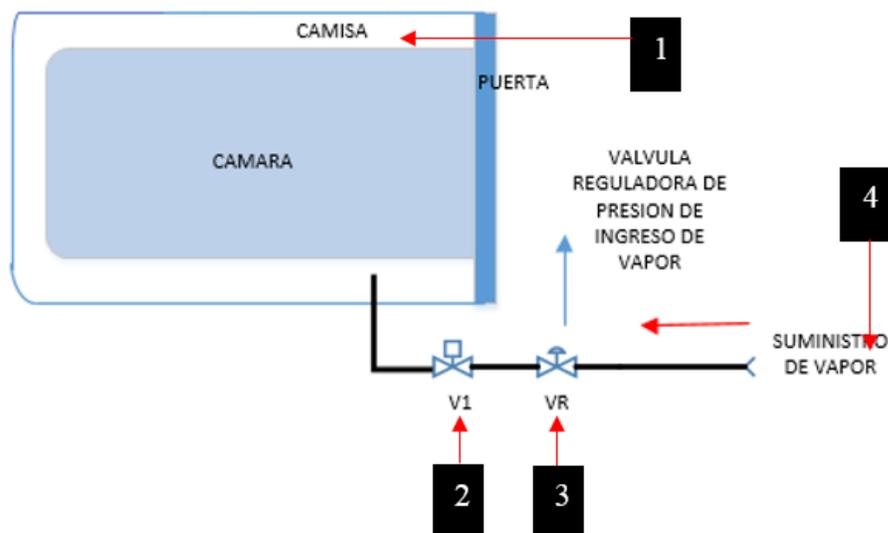


Figura 31 Diagrama de válvula reguladora e ingreso de vapor a la cámara

Tabla 8.

Datos técnicos de la válvula reguladora de presión

Marca	Watts
Modelo	252 A
Material	Bronce
Rosca	NPT
Filtro	De acero inoxidable
Presión máxima	300 psi

Fuente: (Watts, 2016)

- **Válvula de ingreso de vapor a la camisa**

Luego de regularse la presión de ingreso, el vapor continúa su camino a través de la válvula V1 para ingresar a la camisa. En la tabla 9 se indican las principales características de esta válvula siendo las mismas características de la válvula V2,

responsable del paso del vapor de la camisa a la cámara para incrementar la temperatura durante la fase de esterilización.

Tabla 9.

Datos técnicos de la válvula de ingreso de vapor a la camisa

Marca	Asco
Modelo	8220
Material de la tubería	Acero inoxidable
Estado inicial	Normalmente cerrada
Presión máxima de trabajo	125 psi
Temperatura máxima	353°F (176°C)
Clase de aislamiento	H
Pistón	EPDM, Etileno Propileno Dieno Monómero
Diafragma	PTFE, Politetrafluoroetileno
Medida de la tubería	½"
Consumo de energía	50 watts

Fuente: (ASCO, 2016)

La figura 32, muestra la tubería compuesta por la válvula de paso de vapor de la camisa a la cámara V2 y la válvula de ingreso de aire a la cámara V4 con su respectivo filtro.



Figura 32 Sistema de ingreso de vapor

2.6.3.3 Válvula de ingreso de aire

La válvula de ingreso de aire, se encarga de pasar el aire del ambiente filtrado al final del ciclo, es la última etapa del ciclo de esterilización, y su función principal es la de romper el vacío e interrumpir la presión permitiendo la apertura de la puerta.

El filtro usado tiene forma cilíndrica, con papel de filtrado médico que tiene una precisión de 0.2um para asegurar de esta manera que no ingrese ninguna bacteria e impureza a la cámara evitando contaminar los materiales recién esterilizados. El área de filtración efectiva es de 800 cm² y la temperatura máxima de operación es de 80°C. En la figura 33 puede observarse el sistema de ingreso a la cámara, tanto de aire como de vapor.

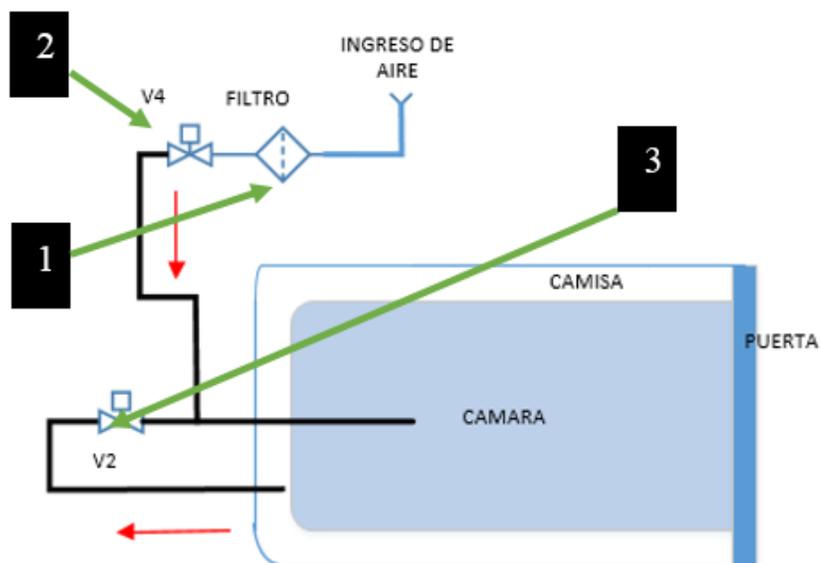


Figura 33 Válvula de paso de aire y vapor

En la tabla 10 se describen los datos técnicos de la válvula de ingreso de aire

Tabla 10.

Datos técnicos de la válvula para ingreso de aire

Válvula solenoide	UNI-D
Modelo	UW
Estado inicial	Normalmente cerrada
Material del cuerpo	Bronce fundido
Medida de la tubería	1/2"
Temperatura de fluido	-5 a 80°C
Presión diferencial	0-100 PSI
Tensión nominal	110V AC / 220V AC
Rosca	NPT

Fuente: (Viaindustrial, 2016)

2.6.3.4 Sistema de desfogue

El sistema de desfogue se compone de dos tuberías. La tubería en la cual interviene la válvula encargada de pasar agua para disminuir el vapor y después ir al desagüe y la de válvula V3 de desfogue directo del vapor.

- **Válvulas de alivio de vapor**

La válvula es activada en el desfogue de vapor luego de la etapa de esterilización, se encarga de ayudar a aliviar el vapor desfogado de la cámara, reduciendo la velocidad en la salida del vapor desde la cámara. En la figura 34 se indica la válvula de alivio de vapor la cual tiene las mismas características de la válvula de desfogue V3.

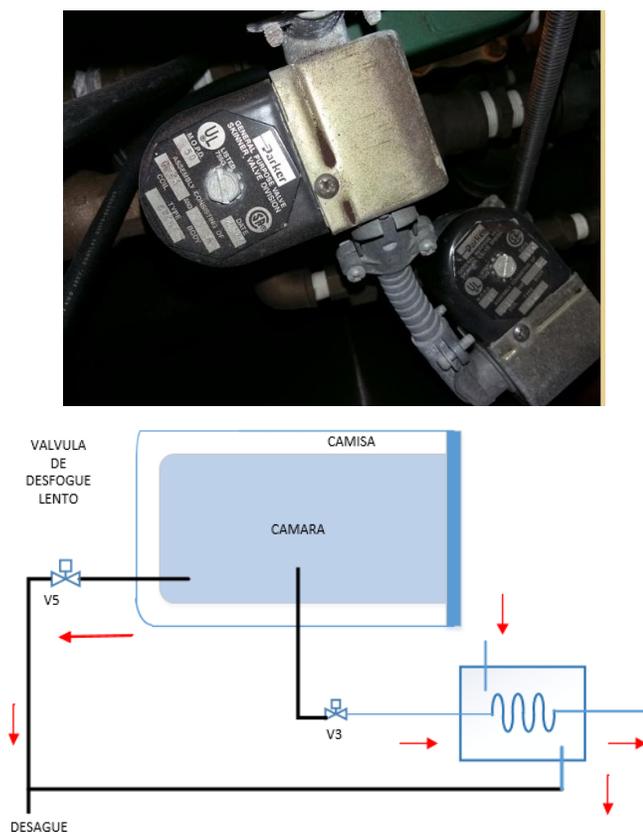


Figura 34 Válvula de alivio

- **Válvulas de desfogue**

La válvula V3 sirve para conectar la cámara a la bomba que genera el vacío en las etapas de eliminación de aire y desfogue del vapor luego de la fase de esterilización. Esta válvula está conectada directamente al ingreso del tanque de agua. La V3 se activa en todos los ciclos, al inicio de cada uno de estos al crear 4 pulsos de vacío y es activada por segunda vez en los ciclos de secado, luego de la fase de esterilización. En la tabla 11 se indican los datos técnicos de la válvula de desfogue.

Tabla 11.

Datos técnicos de válvulas de desfogue

Voltaje	120/60 – 110/50
Referencia	D9
Clasificación de la bobina	H
Tamaño de puerto NPT	½
Medida de orificio	½"
Factor de flujo Cv	3.60
Presión diferencial de operación	50 PSI
Potencia	10 watt
Máxima temperatura	300
Bobinas	4

Fuente: (Parker, 2016)

2.6.4 Sistema de control eléctrico

El sistema de control eléctrico de la autoclave comprende los circuitos de potencia, comandos, interruptores y protecciones, necesarios para la operación del equipamiento eléctrico de la máquina.

Las siguientes partes se ubican en la parte posterior de la autoclave:

- Relé de estado sólido para control del sistema de vacío
- Breaker para protección de todos los circuitos
- Relés de protección

Los circuitos del sistema de vacío se conectan a una caja eléctrica con una tensión monofásica de 220 V, 60Hz con su respectiva conexión a tierra en la parte metálica de la caja eléctrica y las partes metálicas de la autoclave, respetando las leyes y reglamentos vigentes.

Los circuitos de comando son energizados por una fuente con cuatro salidas. Las bobinas de las válvulas solenoide están conectadas en un extremo a 110VAC y en el otro extremo a la salida del controlador.

Los fusibles protegen los circuitos eléctricos y electrónicos operados en corriente continua y circuitos limitadores de corriente, dentro de los estabilizadores de la fuente. Se cuenta con relés de protección para detener la operación de la bomba en caso de fallas.

2.7 Elementos de medición

A continuación se presentan los instrumentos y sensores presentes en la autoclave con sus respectivas características.

Manómetros: en la parte frontal del equipo se encuentran dos manómetros los cuales indican la presión de la camisa y de la cámara respectivamente, con un rango de medida de 0 a 16 bares y de 0 a 250 PSI. El manómetro es solo un indicador, en la figura 35 se pueden ver ubicados en la parte superior los dos manómetros que tienen el mismo rango de medida pero usados para la cámara y camisa respectivamente.



Figura 35 Manómetros de la autoclave

El sensor de temperatura es RTD del tipo PT100, este transductor de temperatura está en la tubería de paso de vapor a la cámara y tienen su propia instrumentación emitiendo una señal de 4 a 20 mA, y con un rango de trabajo de temperatura de 20 a 300 °C.

El sistema está equipado con dos transductores de presión que se muestran en la figura 36, están descontinuados en el mercado y son de tipo P155-75A-F1A. Se encargan de monitorear la presión en la cámara y en la camisa, para controlar una fluctuación mínima, del control de este parámetro depende la estabilidad de la temperatura y es de su aportación depende el correcto funcionamiento de la esterilización.

Además de estos dos sensores, se dispone de un sensor de presión encargado de obtener la presión atmosférica, se encuentra al aire libre con el fin de comparar las presiones para iniciar los ciclos y para permitir abrir la puerta cuando se alcance la igualdad entre las presiones de la cámara y la atmosférica.



Figura 36 Sensor de presión de la autoclave P155-75A-F1A

CAPÍTULO III

INGENIERÍA BÁSICA

3.1 Diseño para el sistema de esterilización

Para el diseño de este nuevo sistema de esterilización, se ha seguido los lineamientos del manual de operación del fabricante Consolidated Sterilizers. Esta marca construye sus equipos de acuerdo con los estándares ISO 11345, cualquier construcción con esta marca de garantía se han construido en estricta conformidad con las disposiciones de la caldera y la presión código Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), así como el TIR-13 ", establecido por la "Asociación para el Avance de la Instrumentación Médica" AAMI

El sistema de instrumentación debe modernizarse principalmente en los elementos de medición con el fin de mejorar los ciclos de esterilización. Es necesario reemplazar los transductores de presión, no solo porque se encuentran dañados sino también porque es un modelo discontinuado y debe aprovecharse la repotenciación del equipo para implementar sensores modernos previniendo futuros mantenimientos correctivos.

Cada instrumento sin importar su fabricante, maneja señales de respuesta estándares, e incluso la transducción de las señales manejan el mismo rango de corriente y de esta manera pueden ser interpretadas por cualquier tipo de controlador, por lo tanto se facilitará el usar, en el mismo sistema de instrumentación, elementos de diferentes fabricantes.

Elementos como los manómetros, se encuentran en buen estado y después de ser revisados pueden calibrarse para que pueden seguir con su funcionamiento en el equipo,

reduciendo el costo que se generará en el cambio de otros componentes primordiales para el correcto funcionamiento de esterilización.

Los equipos deben cumplir con las normas de protección certificadas, y en cuanto a los elementos utilizados no solo se tiene las certificaciones correspondientes de la estructura de la cámara y camisa de la autoclave sino también las respectivas garantías de los dispositivos utilizados.

3.1.2 Variables técnicas del sistema

Luego de analizar los elementos actuales del equipo, se proponen varios cambios de dispositivos con el fin de mejorar el funcionamiento de cada dispositivo para que contribuya al trabajo conjunto en el equipo e incremente la eficiencia de manera significativa.

En la viabilidad del proyecto que se desarrolla, uno de los fines principales es el de realizar cambios en el sistema de instrumentación, de elementos mecánicos o elementos deteriorados que debido a la antigüedad del equipo ya no se encuentran actualmente en el mercado, previniendo de esta manera la localización de repuestos en futuros mantenimientos correctivos. Se puede establecer que todos los instrumentos y elementos necesarios para este sistema de instrumentación están disponibles en el mercado ya sea a nivel nacional o internacional.

3.1.3 Sensor de temperatura PT100

El sensor encargado de medir la temperatura en la autoclave, en la cámara es de tipo RTD, sensor PT100. Es un poco más costoso y menos rígido que la termocupla pero superior en aplicaciones que requieren bajas temperaturas. Mientras la termocupla abarca temperaturas desde -220°C hasta temperaturas de 1800°C, habiendo la posibilidad de usar aleaciones especiales que elevan el rango de temperatura superior a 3000°C, el

rango de temperatura del PT100 es de -250°C hasta 850°C , apropiado para el funcionamiento del autoclave que se maneja en un rango de 0 hasta 134°C .

Existen varios tipos PT100, diferenciándose principalmente en el tipo de material del que están compuestos. Se utilizara el PT100 que tiene el equipo, debido a su buen estado físico además que sus características cumplen con lo seleccionado, al ser de platino asegura estabilidad y precisión de 0.01, el rango de trabajo de temperatura para este tipo de material es más alto del que se requiere en este proyecto, y a pesar que el metal de níquel podría cumplir el requerimiento, en cuanto a la precisión no es apto para la aplicación que se desarrolla. El rango de error, debe ser el menor posible debido a que la temperatura constante durante un tiempo preseleccionado determina la esterilización de los elementos ingresados a este procedimiento, de acuerdo a las especificaciones del fabricante de la marca el error de temperatura permitido por el fabricante debe estar en el rango de $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Aunque la conexión de dos hilos es el montaje más sencillo, presenta el inconveniente de la variación en la resistencia de los hilos de la conexión de la termo resistencia al puente, lo que provoca una medición errónea y la conexión de cuatro hilos que es la más precisa, está en desventaja porque es la más costosa y solo ameritaría el costo adicional para una instalación con distancias superiores a 20 metros y en este caso no se requiere distancias tan largas, así que el tipo de conexión escogido será de 3 hilos.

Se ha realizado este análisis con el fin de analizar el sensor más adecuado para la repotenciación de la autoclave, ya que el sensor que está instalado en el equipo es PT100 de aluminio de 3 hilos y su estado es apropiado, se dejara este mismo elemento.

El equipo solo cuenta con sensor de temperatura en la cámara, pero cuenta con dos sensores de presión, uno en la camisa y uno en la cámara que permiten monitorear las presiones altas que se requieren para elevar la temperatura por encima de 100 grados.

3.1.4 Sensor de presión

Los traductores de presión se encuentran escasos en el mercado, solo se consiguen mediante importación en costos altos debido al poco mercado que abarca, con la principal desventaja del tiempo y costos extras generados por la importación que requiere.

Tabla 12.

Características del transductor de presión de reemplazo

Marca	Tecsis
Modelo	P3251
Tipos de medición	Presión relativa y presión absoluta
Precisión:	
Presión relativa	0.5%
Presión absoluta	0.25%
Salida estándar	4-20 mA
sistema	2 hilos
Material	Acero
Elemento integrado de refrigeración	Temperatura del medio hasta 150°C
Rango de medida de presión relativa	Negativo: -1 bar a 0 bar Positivo 0 a 600 bar
Rango de medida de presión absoluta	0 a 16 bar
Voltaje de alimentación	10 - 30 VDC
Tipo de protección	IP 65
peso	0.2 Kg

Fuente: (Tecsis, 2016)

Al ser un elemento tan importante dentro del proceso de esterilización, y en vista del estado actual de los dos sensores, se cambiarán por un modelo más accesible. En la tabla 12 se encuentran las características principales del transductor a utilizar.

Las características del nuevo transductor son similares al sensor anterior P155-75A-F1A, en el voltaje de alimentación lo que permite utilizar la misma fuente de energía que se encuentra en la parte eléctrica de la autoclave, y principalmente en el rango de presiones de trabajo.

3.2 Cámara

Algunas recomendaciones hechas por el fabricante para extender la vida útil de la cámara son:

- La válvula de control de vapor principal debe apagarse después de un proceso de esterilización ya que de otra forma el anillo de sellado envejecerá con el transcurso del tiempo debido a su exposición en altas temperaturas.
- Se debe retirar el anillo cada 6 meses para limpiar la ranura, además se debe limpiar el anillo de sellado con alcohol.
- Limpiar el anillo con frecuencia y la superficie de la puerta

Para la limpieza interna de la cámara se utilizaran agentes químicos especiales tanto para la desincrustación, desoxidación y limpieza de impurezas, terminando este proceso se realiza la pulida total para luego pintar, usando solo pintura anticorrosiva resistente a altas temperaturas para el exterior de la cámara y se cambiará el forro térmico del esterilizador para evitar pérdidas de temperatura en la cámara y en la camisa.

3.3 Bomba de agua generadora de vacío e intercambiador de calor

La bomba de agua asegura el vacío que se requiere en cada ciclo para la operación continua en el esterilizador, además del buen funcionamiento de las etapas de vacío y secado. Se dejaron los mismos equipos con los que cuenta el equipo pero se mejorará el sistema de circulación de agua con el fin de disminuir el desperdicio que se da debido a la circulación de agua utilizada para evacuar el vapor que sale de la cámara antes de entrar a la bomba y el líquido que también va al desagüe después de ser extraído por la bomba.

La figura 38 muestra la conexión actual de la bomba con un suministro de agua para el funcionamiento de la bomba, y en la figura 38 se muestra la adecuación diseñada para que no se desperdicie el agua de la bomba que va al desagüe y circule por el intercambiador de calor como medio de enfriamiento en la etapa de secado.

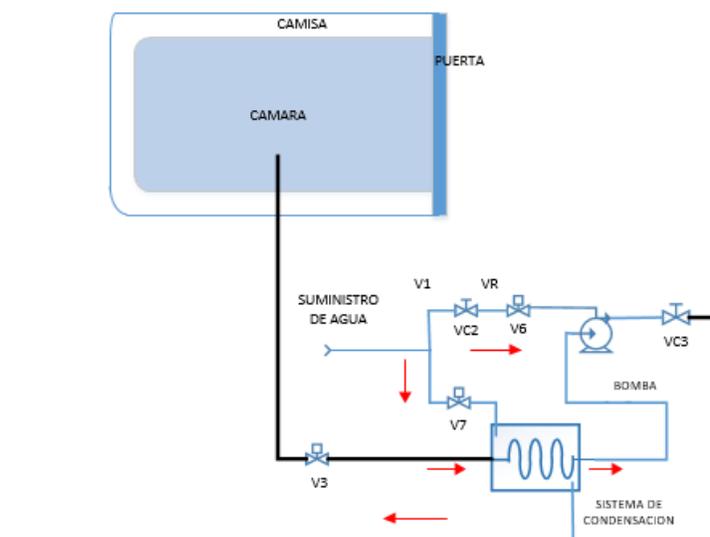


Figura 37 Sistema actual de suministro de agua para la bomba y el intercambiador

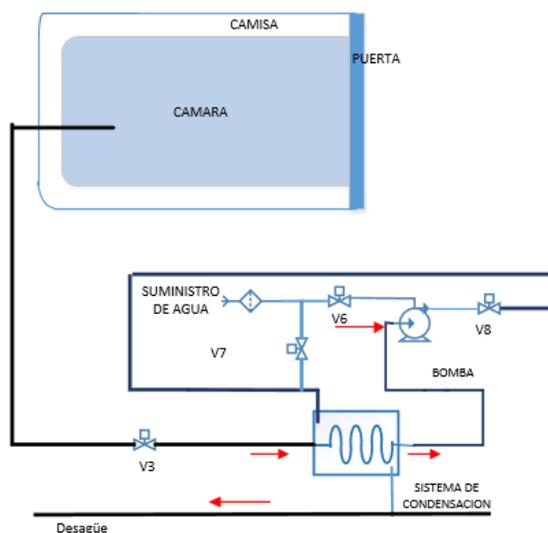


Figura 38 Nuevo sistema de suministro de agua

Aunque la bomba no interviene directamente en la fase de esterilización, se implementará un filtro de agua para purificarla antes de circular por el equipo, y para que sea filtrada antes de pasar por las válvulas, para evitar que residuos o impurezas provoquen daños internos que puedan quedarse en la bomba.

Con esto se logran dos objetivos importantes: Se reduce la temperatura del flujo a través de la bomba, eliminando así las incrustaciones en partes móviles y la eficiencia de la bomba de vacío y también se mejora notablemente mediante la transformación de vapor condensado, lo que resulta en un incremento drástico en la velocidad de generación de vacío. La calidad del agua de alimentación es muy importante para mantener la bomba de vacío y la autoclave en buenas condiciones y prolongar su vida útil por esto también se antepone un filtro de agua cuyas características se presentan en la tabla 13.

Tabla 13.**Características de filtro de agua**

Marca	Solvent
Modelo	Pharmaceutical grade
Máximo caudal	4.3 m ³ /h
EFA	800 cm ²
Temperatura máxima de agua	20°C

Fuente: (Oventrop, 2016)

3.4 Sistema de control

Contiene el sistema electrónico del controlador encargado de controlar y monitorear los parámetros físicos del proceso y realiza la secuencia del ciclo de esterilización seleccionado. Contará con entradas y salidas digitales y entradas análogas como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14.**Entradas y salidas del PLC**

Tipo	Descripción
Entradas analógicas	2 Sensor PT100
	2 Sensor de presión
Entradas digitales	Interruptor de parada de emergencia
	Sensor estado de la puerta.
Salidas digitales	Son usadas para activar las 5 válvulas solenoide, y la bomba

Fuente: (proyecto)

La entrada de voltaje estará protegida de sobretensiones a través de un optocoplador y todas las conexiones serán mediante contactores por motivos de facilidad a la hora de desmontar para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos.

3.5 Sistema eléctrico

Se debe considerar que no hay cuarto de control ya que el lugar donde se concentra la distribución de la energía a las cargas del sistema se encuentra en la misma área de la autoclave, es decir la bomba eléctrica se encuentra dentro del equipo y el tablero de distribución se encuentran a un lado.

- Sección de los conductores de potencia

La protección contra sobre corriente, deben cumplir con lo establecido en la norma NEC, la cual dice que el calibre mínimo para conductores de cobre es de 10 AWG para 600V nominales o menos, por lo cual se usara este tipo de cable para las conexiones.

- Sección del conductor de puesta a tierra

Todo equipo o dispositivo eléctrico debe ser conectado al sistema común de tierras, este conductor debe ser de cobre desnudo según el artículo 250-95 de la norma NEC.

- Selección de Protección contra sobre-corriente

Se debe contar con dispositivos de protección con el fin de extender la vida útil de los dispositivos internos. Para escoger los interruptores automáticos que se activaran ante la presencia de condiciones anormales de corriente, se ha recurrido a la norma NEC sección 430, Bomba de agua potencia de 1500W, 10A los conductores se dimensionan

al 125% de la corriente del equipo lo que nos da una capacidad de protección de 22.5 A, en capacidad de protecciones comerciales se elegirá de 30 A.

- Selección de calibre de los conductores de control

Los cables para el circuito de alimentación de las válvulas y del PLC serán de 16 AWG, según la norma API 540 recomienda este calibre para elementos de instrumentación. Además sugiere un conductor de calibre 14 AWG para elementos de control de equipos de potencia.

El diagrama eléctrico se encuentra la sección de los anexos

3.6 Válvulas

Solo se requiere cambiar la válvula de paso de vapor de la camisa hacia la cámara por que se encuentra dañada como se indica en la figura 39 y la válvula reguladora de presión de vapor, que se encuentra al ingreso, ya que es la única válvula que no se ha cambiado en un lapso de 5 años. La válvula será del mismo tipo ya que tiene la ventaja de tener un filtro interno.

Las demás válvulas aún pueden utilizarse ya que según información del ingeniero supervisor del área de mantenimiento, las válvulas fueron cambiadas hace dos años así que aún tienen cerca de 2 años más de funcionamiento, ya que las recomendaciones en el mantenimiento se deben cambiar las válvulas en un periodo no mayor a 5 años.

Se instalarán 2 filtros: El filtro de aire con mayor capacidad de filtraje, de 0.01m y el filtro de ingreso de agua para el funcionamiento de la bomba.



Figura 39 Válvula (dañada) de paso de vapor de la camisa a la cámara

3.7 Pantalla táctil

La pantalla táctil reemplazará la pantalla actual, luego de analizar las especificaciones técnicas de diferentes marcas y modelos, se ha escogido esta pantalla por su software libre y amplia gama de recursos, las características más relevantes de este modelo a usar se muestran en la tabla 15, y en la figura 40 la pantalla a utilizar.



Figura 40 Pantalla táctil

Fuente: (Delta, Touch Panel HMI, 2016)

Tabla 15.**Características de la pantalla táctil**

Marca	DELTA
Modelo	DOP-B07E515
Dimensiones	7 pulgadas (800 x 600 pixeles)
Soporte	Ethernet, tarjeta SDHC, DMCNET, MPG
Compatibilidad con sistemas operativos	Windows XP, Windows Vista, Windows 7
Cumple con estándar	IP65
Voltaje de alimentación	24 VDC
Consumo de energía	7.68W
Temperatura de funcionamiento	0 – 50°C
(W) x (H) x (D) mm	184 x 144 x 50
Sección del panel (W) x (H) mm	172.4 X 132.4

Fuente: (Delta, Manual HMC08, 2016)

3.8 Diagrama P&ID

El diagrama P&ID se encuentra en la sección de los anexos.

Tabla 16.**Nomenclatura de diagrama P&ID**

Nomenclatura	Descripción
VS1 y VS2	Manómetro de la camisa y de la cámara
PSV 001	Válvula de seguridad de presión de la camisa
PSV 002	Válvula de seguridad de presión de la cámara
V1	Válvula de ingreso de vapor a la camisa
VR	Válvula de regulación de presión
V2	Válvula de paso de vapor de la camisa a la cámara
V3	Válvula de desfogue rápido
V4	Válvula de ingreso de aire a la cámara
V6	Válvula de ingreso de agua a la bomba
V7	Ingreso de agua como medio de enfriamiento
V8	Válvula de desfogue de agua de la bomba
VD1	Válvula de limpieza de la cámara
VD2	Válvula de limpieza de la camisa
Condensador-001	Intercambiador de calor
Bomba-001	Bomba de agua
Filtro de agua-001	Filtro de agua
Filtro de vapor 001	Filtro de vapor
Filtro de aire-001	Filtro de aire
PIT-001	Transductor de presión de la cámara
PIT-002	Transductor de presión de la camisa
PIT-003	Transductor de presión de la atmósfera
TIT-002	Transductor de temperatura de la cámara
PLC	Controlador de la autoclave
HMI	Interfaz grafica

3.9 Programas de esterilización

La autoclave cuenta con 3 programas de esterilización de los cuales utilizan solo uno, esto debido a su estado actual, el equipo permite ejecutar el ciclo con 121°C por lo tanto para esterilizar instrumentos configuran esta misma temperatura en el mismo lapso de tiempo.

Según datos del fabricante, el esterilizador cuenta con la certificación ASME, es decir que la estructura física fue diseñada para soportar presiones y temperaturas altas, para mejorar la eficiencia de los ciclos de esterilización, como se mencionó en el capítulo 1, se reduce el tiempo de esterilización incrementando la temperatura. Los parámetros que estaban usando los operadores del área de esterilización eran los mismo para cualquier material, solo verificaban que el tiempo de esterilización fuera 25 minutos, 20 minutos de secado y una temperatura de 121°C para esterilizar cualquier material, sumando el tiempo de calentamiento a los tiempos anteriores, se reduce la eficiencia del equipo ya que tarda alrededor de una hora cada ciclo.

Con el fin de mejorar la eficiencia de trabajo del equipo se podrá contar con 4 diferentes programas que ayudarán a prevenir el uso incorrecto de la autoclave por parte de los operarios del área de hospital incluyendo los programas que beneficiarán a los técnicos de mantenimiento.

Dentro de los ciclos programados para beneficio de los técnicos se podrá tener el de prueba Bowie Dick que tiene el objetivo de probar la eliminación de aire de la cámara. Además del programa de test de vacío, destinado a probar si hay fugas de aire en la cámara a través del sello de la puerta o cualquier otro elemento.

En la tabla 17 se presentan los parámetros establecidos según el tipo de material que se desea esterilizar y a continuación, en el capítulo de Ingeniería de Detalle, se encontrarán los de los diagramas de tiempo y de flujo que representan cada ciclo.

Tabla 17.**Programas de esterilización con sus parámetros de funcionamiento**

Material	Temperatura	Presión	Tiempo de esterilización	Tiempo de Secado	Pulsos de vacío / pulsos de vapor
Materiales rígidos (Instrumentos)	132°C	Vacío 3.65 Psi Vapor 23.5 Psi	3 min	15 min	4 pulsos de vacío hasta 3.65Psi/ 3 de vapor hasta 23.5 Psi
Materiales (ropa)	121°C	Vacío 3.65 Psi Vapor 23.5 Psi	15 min	15 min	4 pulsos de vacío hasta 3.65Psi/ 3 de vapor hasta 23.5 Psi
Prueba de Bowie & Dick	134°C	Vacío 3.65 Psi Vapor 23.5 Psi	3 min	2 min	4 pulsos de vacío hasta 3.65Psi/ 3 de vapor hasta 23.5 Psi
Prueba de fuga de aire	El cambio de presión aceptable durante los 10 min es de 0.2 psi	Vacío 1.5 Psi	5 min de estabilización de presión	10 min de presión monitoreada	1 pulso de vacío de 1.5 Psi

CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE DETALLE

4.1 Programación de los ciclos de esterilización

Se utilizará el PLC Allan Bradley Micrologix 1100, para este PLC se requiere un módulo de entradas analógicas ya que solo cuenta con dos entradas análogas. Se escoge el módulo de entradas analógicas con la capacidad de leer al menos 4 sensores, contiene circuitos con una conexión directa de PT100, al igual que para los sensores de presión, este módulo será el 1762IF4

Además de los ciclos para esterilizar diferentes tipos de materiales, se cuenta con dos programas más para evaluar la eficiencia del equipo, ciclo de prueba de Bowie & Dick y ciclo de prueba de fuga de aire, los mismos que serán descritos antes de presentar el diagrama de flujo correspondiente.

4.1.1 Programa esterilización de Instrumentos

El primer programa está diseñado para esterilizar materiales rígidos como instrumentos médicos, no hay necesidad de envolverlos, debido a la alta temperatura, de 132°C con tiempo de esterilización de 3 minutos y tiempo de secado de 15 minutos.

La primera etapa de este ciclo tiene el fin de desplazar el aire que haya dentro de la cámara. En esta fase se crean 4 pulsos de vacío, decrementando la presión a 3.65 psi y tres pulsos de vapor de hasta 23.5 psi.

La segunda etapa será el periodo de esterilización: se controla la temperatura durante este lapso de tiempo, con un error permitido de $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Durante la tercera etapa se realiza el desfogue del vapor creado en la cámara, cuando la presión llega a 16.68 psi, debe activarse la bomba de vacío hasta que la presión llegue al mínimo valor de presión en la cámara, de 3,65 psi.

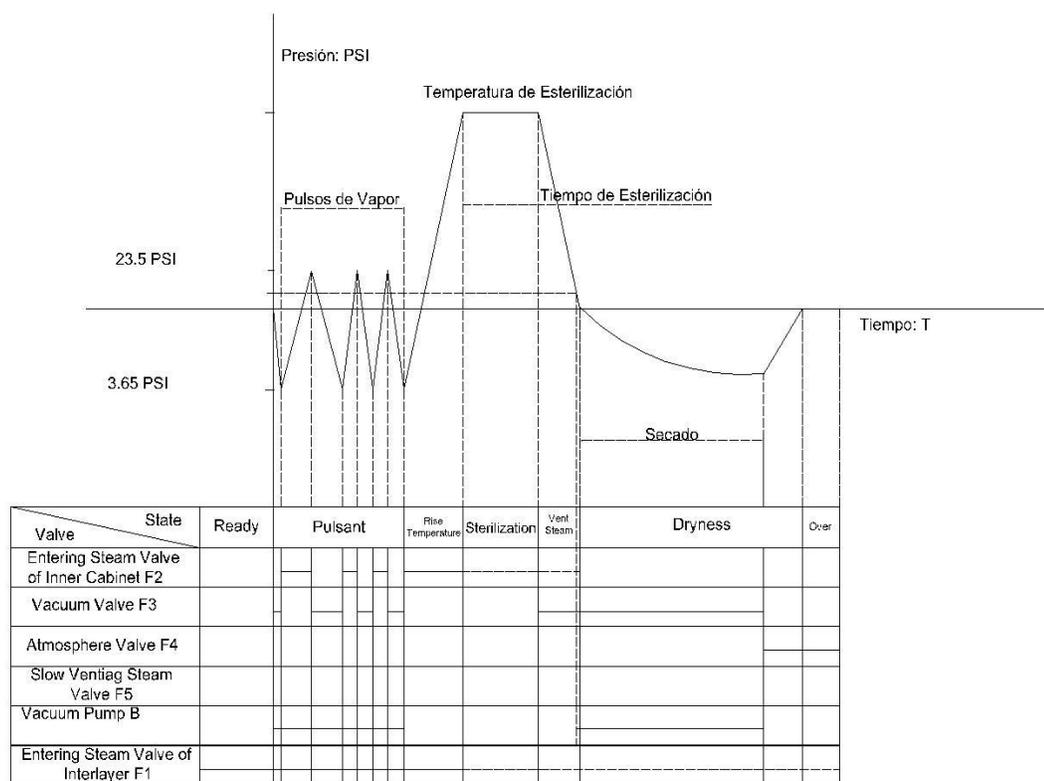


Figura 41 Diagrama de tiempos para funcionamiento de válvulas

En la última fase de este ciclo debe equilibrarse la presión con ayuda de la válvula V4, que permite ingresar aire directamente a la cámara a través del filtro, hasta igualar la presión relativa a la presión atmosférica, todo este proceso se puede ver en la figura 41 y a continuación se muestra el diagrama de flujo para activar las válvulas según este diagrama.

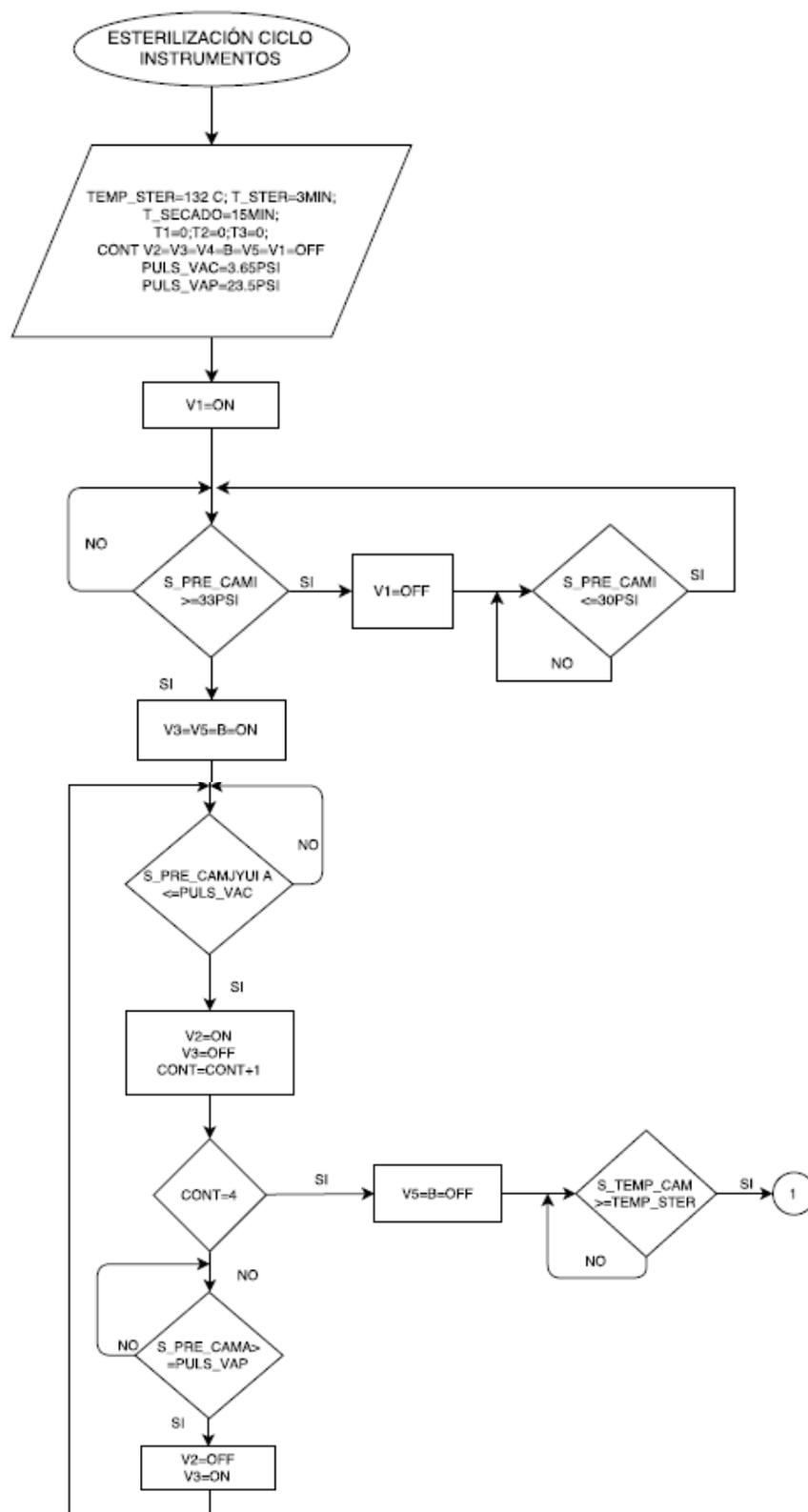


Figura 42 Etapa de vacío

En la figura 42 se realizan la etapa inicial de eliminación de aire, esta etapa es la misma para los 4 ciclos de esterilización,

En la figura 43 se muestra el ciclo de esterilización, corresponde al control sobre las válvulas de ingreso de vapor desde el suministro hacia la camisa, y de la camisa a la cámara, utilizando un control ON-OFF.

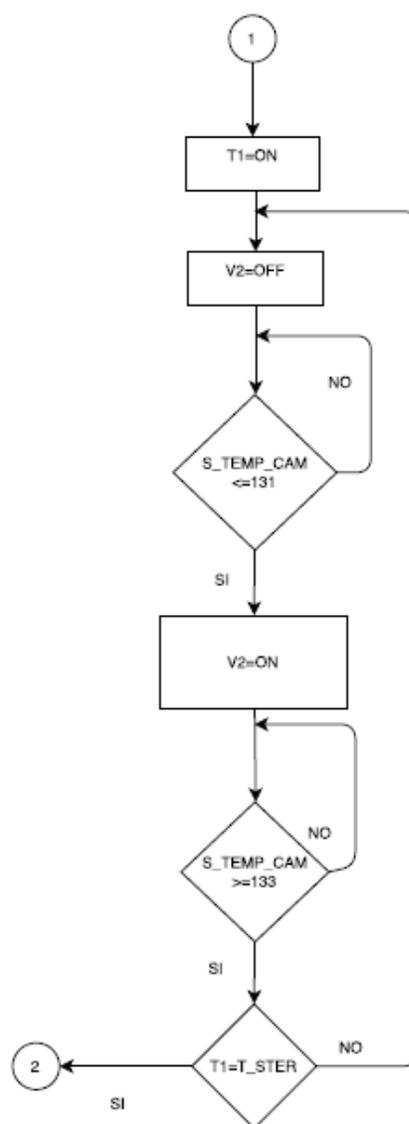


Figura 43 Diagramas de flujo de Control ON-OFF

En la figura 44 se encuentra la última etapa de este ciclo, etapa de equilibrio de presiones. En esta etapa la presión de la cámara debe igualarse a la presión atmosférica

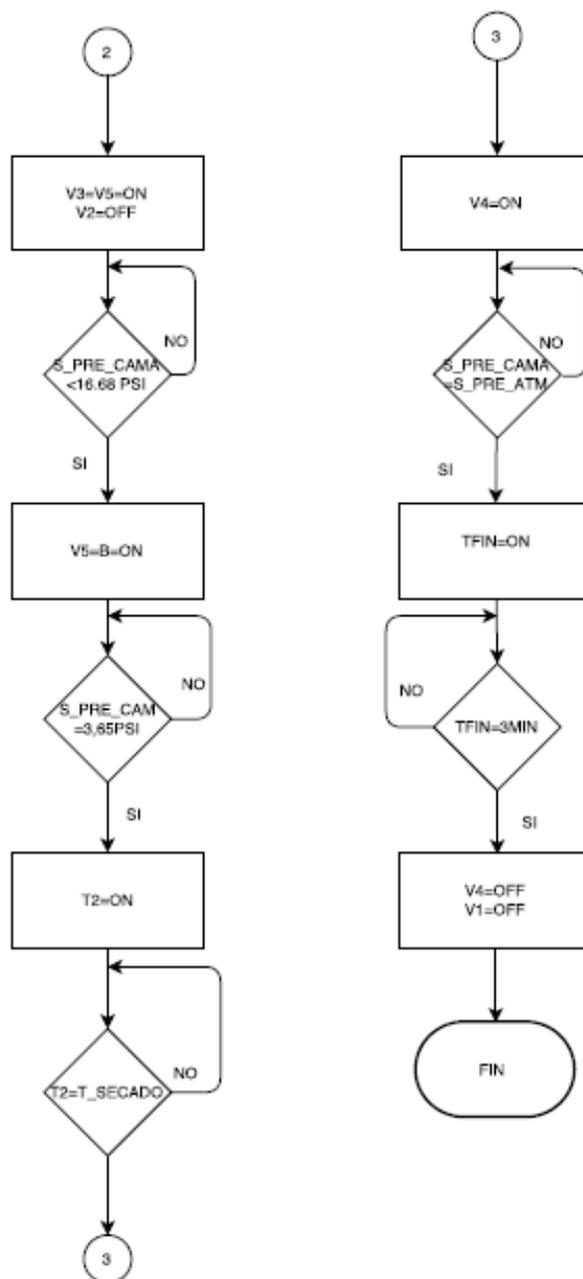


Figura 44 Desfogue de vapor y equilibrio de presión

4.1.2 Programa esterilización de Ropa

El segundo programa de esterilización está diseñado para materiales como indumentaria médica, ropa, gasas y elementos porosos. Este ciclo es parecido al anterior y su diferencia radica básicamente en los parámetros Temperatura de esterilización de 121°C en 15 minutos y tiempo de secado de 15 minutos.

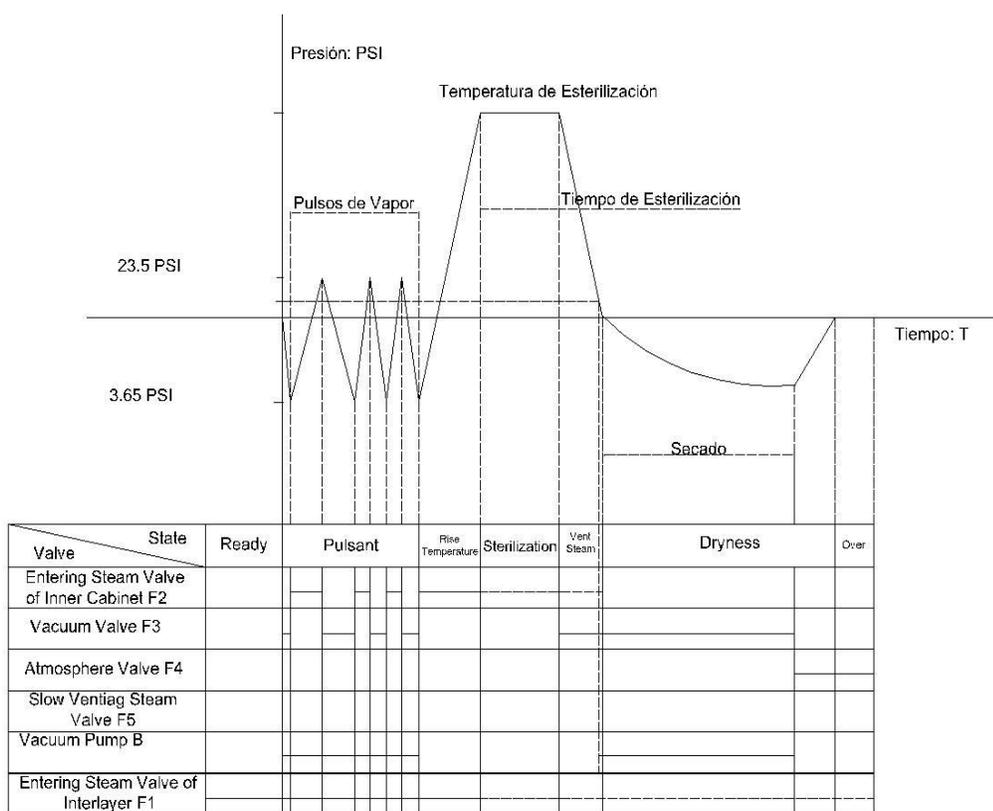


Figura 45 Diagrama de tiempos para funcionamiento de válvulas

Las etapas de las figuras 46 y 47 son las mismas modificando el tiempo de esterilización a 15 minutos y la etapa de secado de 15 minutos.

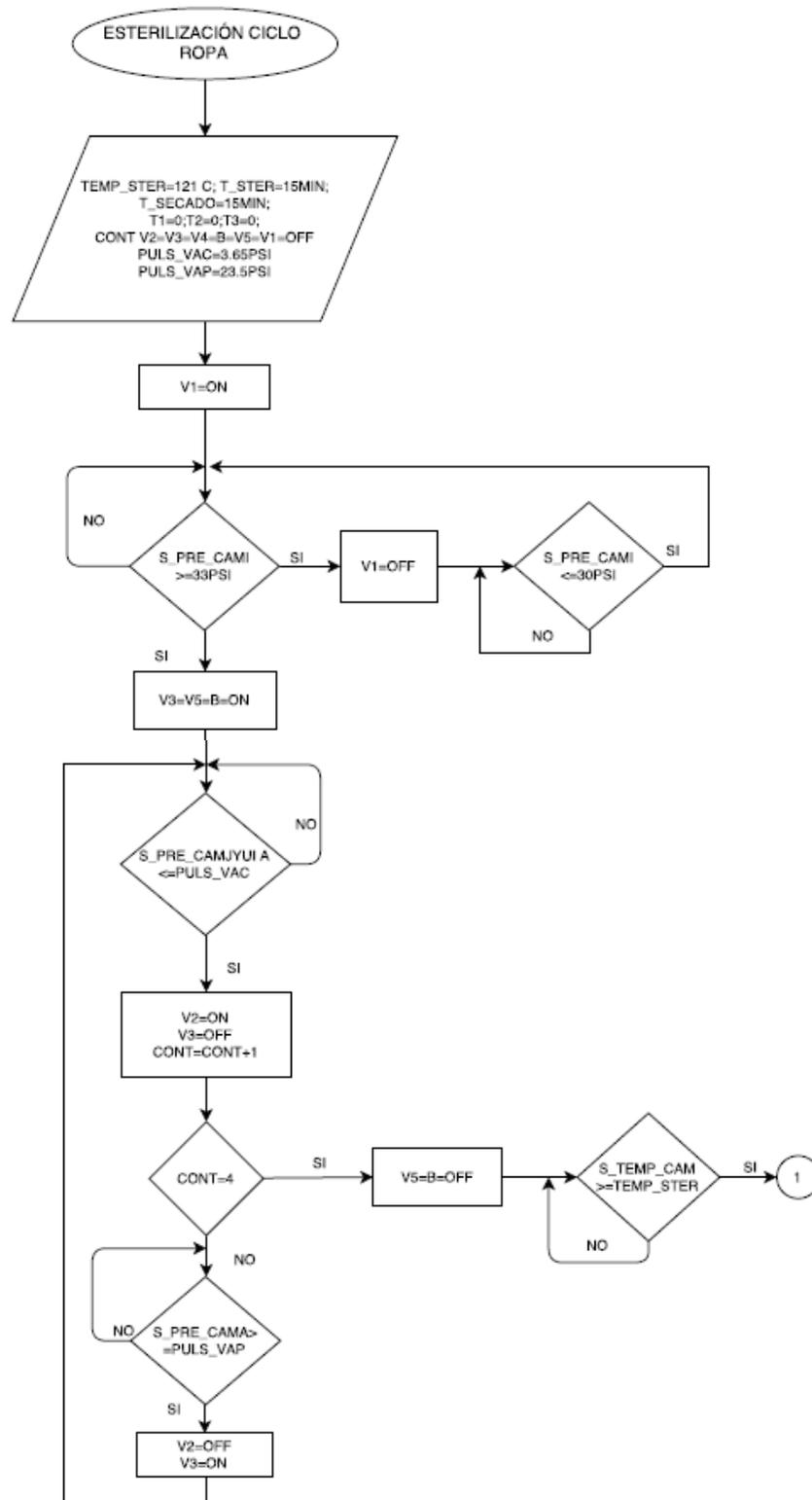


Figura 46 Etapa de vacío

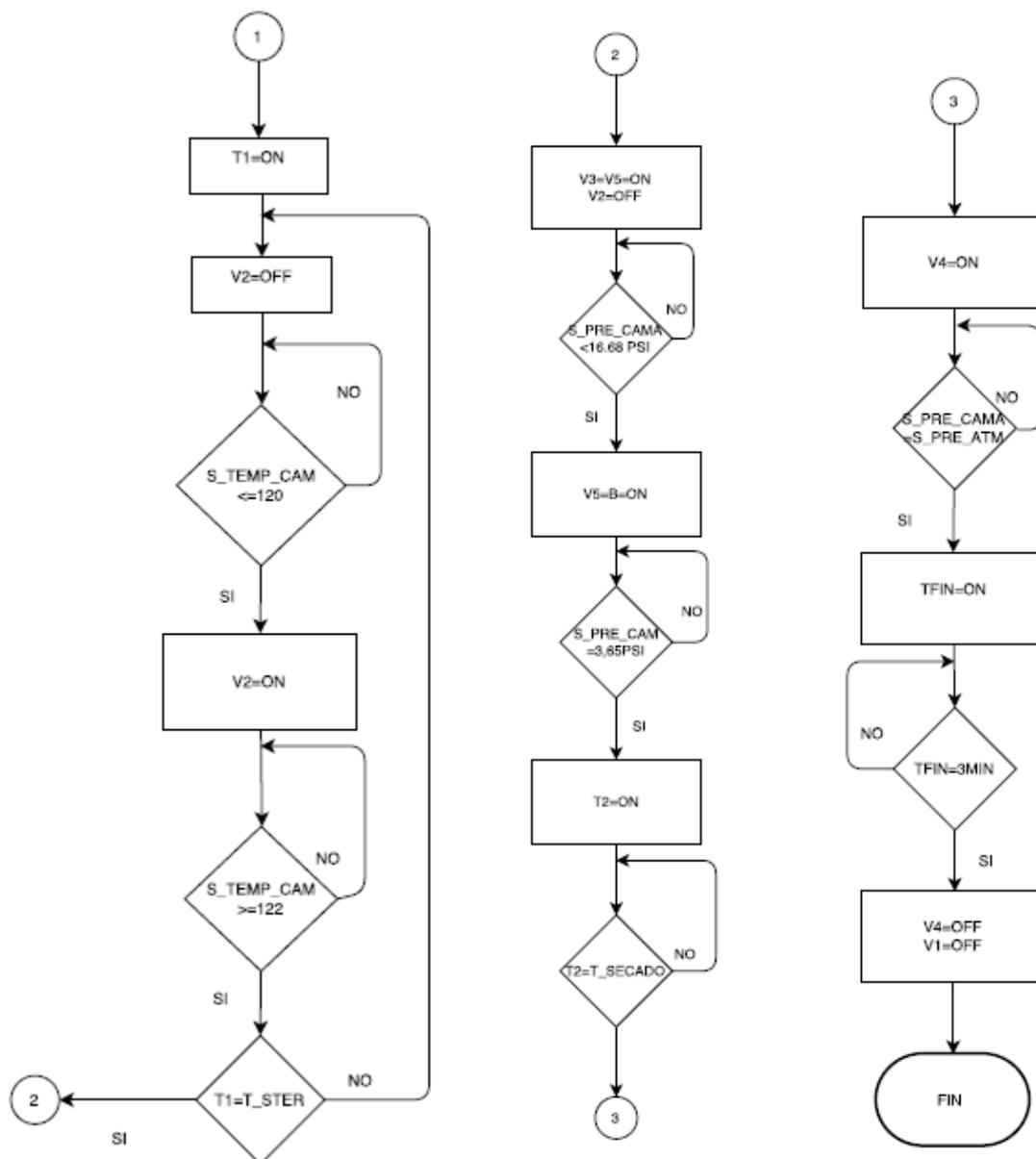


Figura 47 Control ON OFF, desfogue, secado y equilibrio

El control sobre la válvula V1 es de suma importancia, nos solo para controlar simultáneamente la temperatura en la cámara sino también el de volatizar gradualmente el agua en los materiales de durante la etapa de secado.

Esta etapa de secado se inicia en cuanto acaba el tiempo la etapa de esterilización, luego de esta etapa se equilibran las presiones, la presión de la cámara con la presión

atmosférica, para finalmente dar paso a la descompresión de la cámara y permitir abrir la puerta.

4.1.3 Programa Prueba de fugas

Este programa tiene la finalidad de comprobar que no haya fugas de aire en la cámara, esta prueba se realiza bajo condiciones de vacío provocando un vacío en la cámara hasta 1.5 psi durante esa etapa se cierran todas las válvulas y la bomba, después de 5 minutos debe estabilizarse la presión, finalizado este tiempo los 10 minutos siguientes serán monitoreados para comprobar que no hayan fugas, aunque es aceptable un cambio de presión de 0.4 psi. El diagrama de flujo que corresponde a ese ciclo se encuentra en la figura 48.

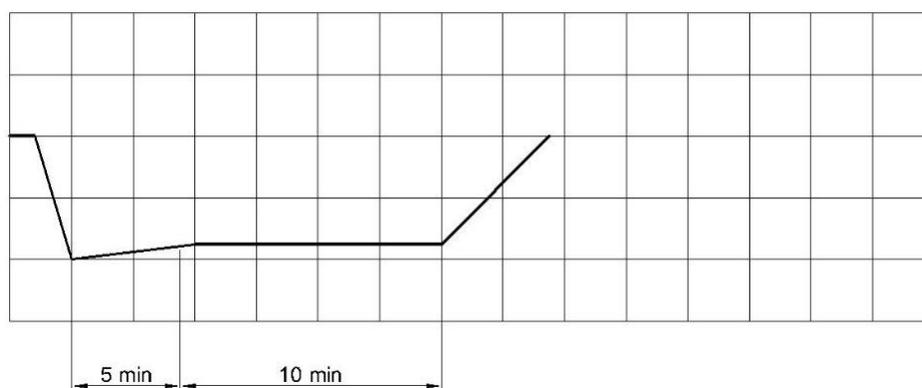


Figura 48 Diagrama de tiempos para la prueba de fugas

Durante esta etapa, se genera como se indica en la figura 49, un vacío con la finalidad de sostener la presión en 1.5 psi. Cuando se llega a esta baja presión se cierran todos los elementos de control para dar paso a 5 minutos de estabilidad de la presión.

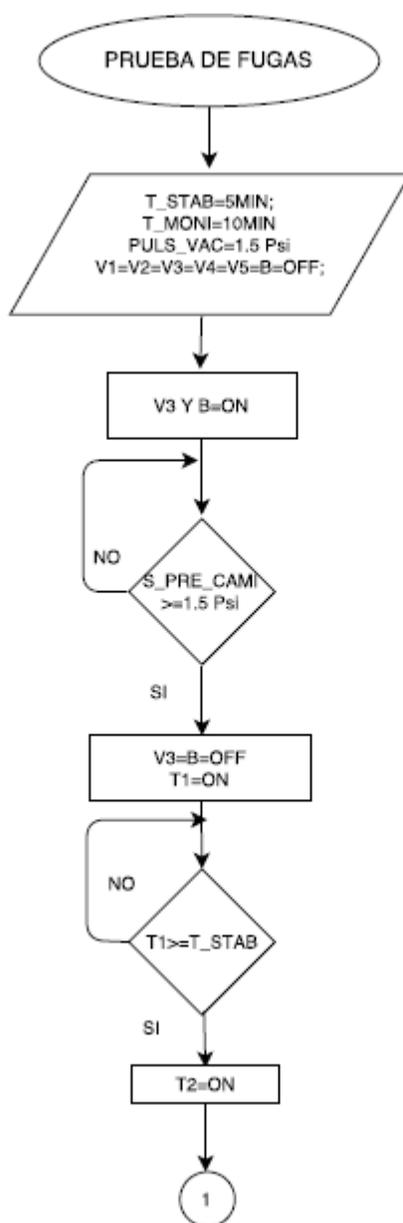


Figura 49 Fases de vacío y estabilidad

Finalmente se monitorea la presión en un lapso de 10 minutos, en donde se evaluará el cambio de presión esperando que no se baje o suba más de 0,4 psi, como se muestra en la figura 50.

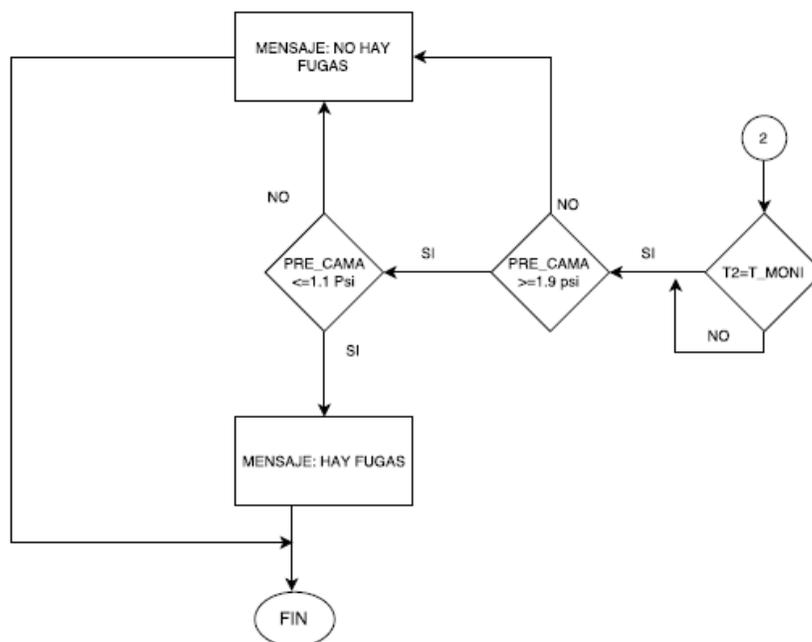


Figura 50 Fase de monitoreo de 10 min

4.1.4 Programa de Bowie Dick

Este último programa está diseñado para probar la eficiencia de la eliminación de aire. En las autoclaves que utilizan vapor para realizar la esterilización basan su correcto funcionamiento en la eliminación del aire y la adecuada penetración del vapor. Esta prueba es una garantía en la esterilización.

Es una prueba independiente al equipo de comprobación del vacío y la penetración del vapor, se realiza como un ciclo normal de esterilización, en el primer ciclo de cada día, procurando hacerse bajo las mismas condiciones, es decir en un mismo horario, con parámetros de 134°C en un periodo de 3 minutos y dos minutos de secado. En la figura 51 se indica el diagrama de tiempos de funcionamiento para la prueba.

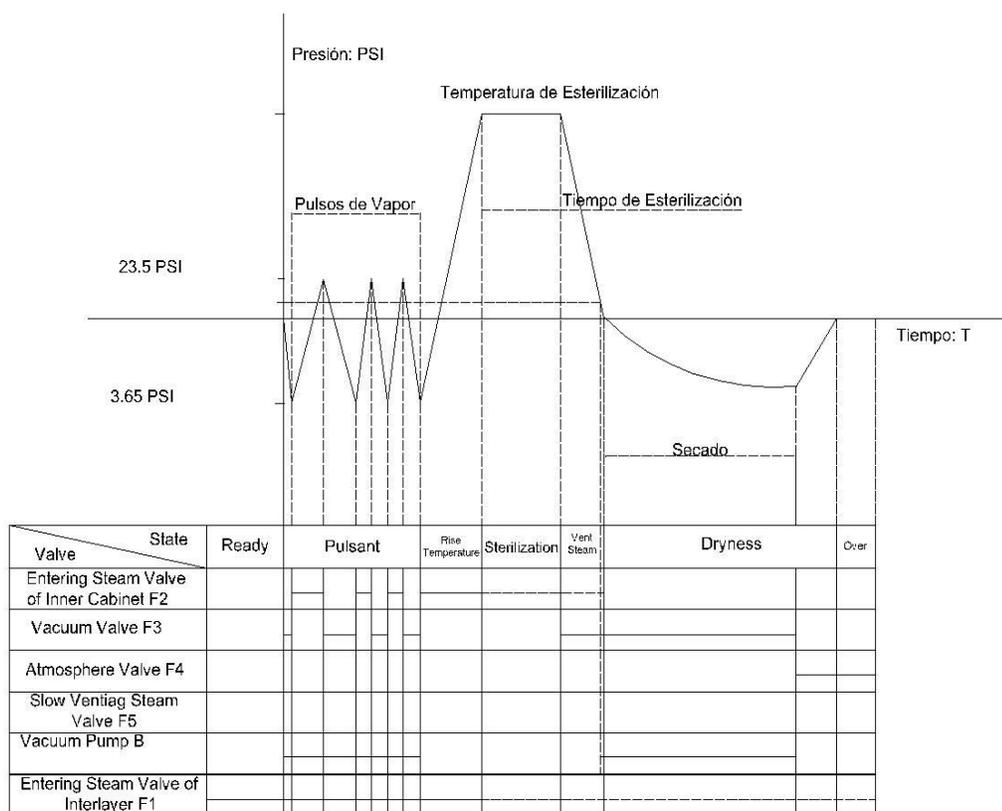


Figura 51 diagrama de tiempos Bowie Dick

Los pasos a seguir recomendados por CODEINEP (Control de Infecciones y Epidemiología) son:

1. Confección del paquete prueba de Bowie/Dick:

Use tanto material textil como sea necesario para confeccionar un paquete, convenientemente envuelto en doble hoja de papel para esterilización, fijado con cintas adhesivas, dimensiones aproximadas a las siguientes: 30 cm largo x 30 cm ancho x 30 cm de alto y un peso aproximado al 5,5 Kg . En la figura 52 se encuentra la primera etapa de vacío.

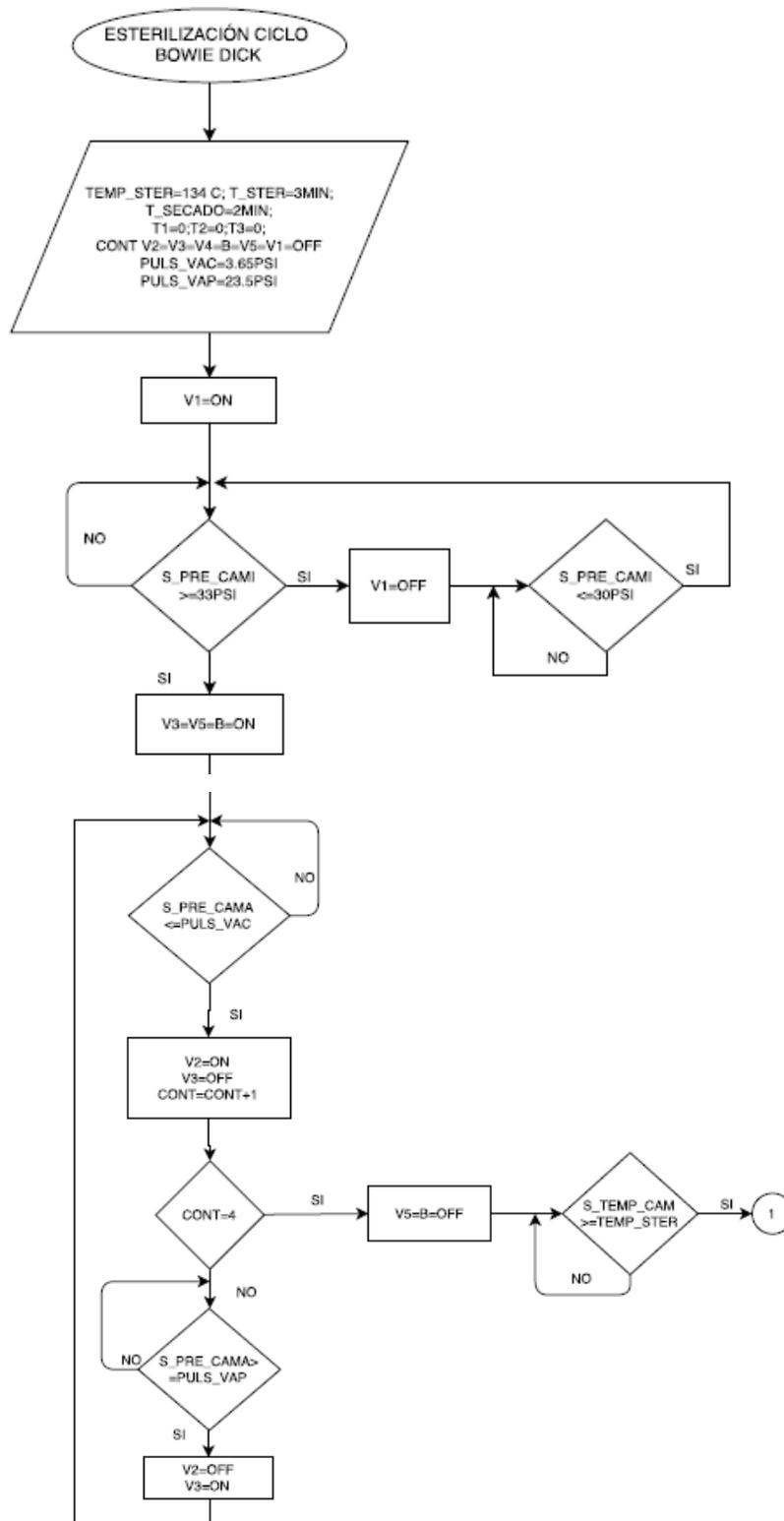


Figura 52 Etapa de vacío

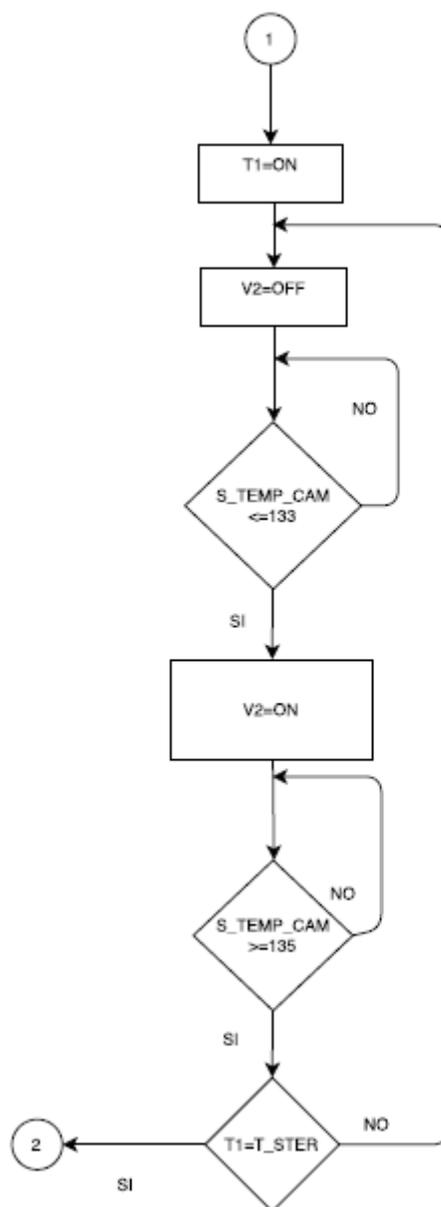


Figura 53 Etapa de esterilización con hoja de prueba B&D

En la figura 53, al igual que en los ciclos de esterilización anteriores, se tiene el control ON-OFF en la temperatura de 134°C, temperatura que requiere las pruebas para comprobar la penetración del vapor.

En la mitad del paquete prueba, se coloca la hoja de Bowie/Dick y se añade el restante material textil hasta completar la altura final del paquete (30 cm). Según las técnicas habituales de envoltura, se debe envolver esta pila de material con dos hojas de papel apto para esterilización o en su defecto envuelva con compresas de tela o tela no tejida.

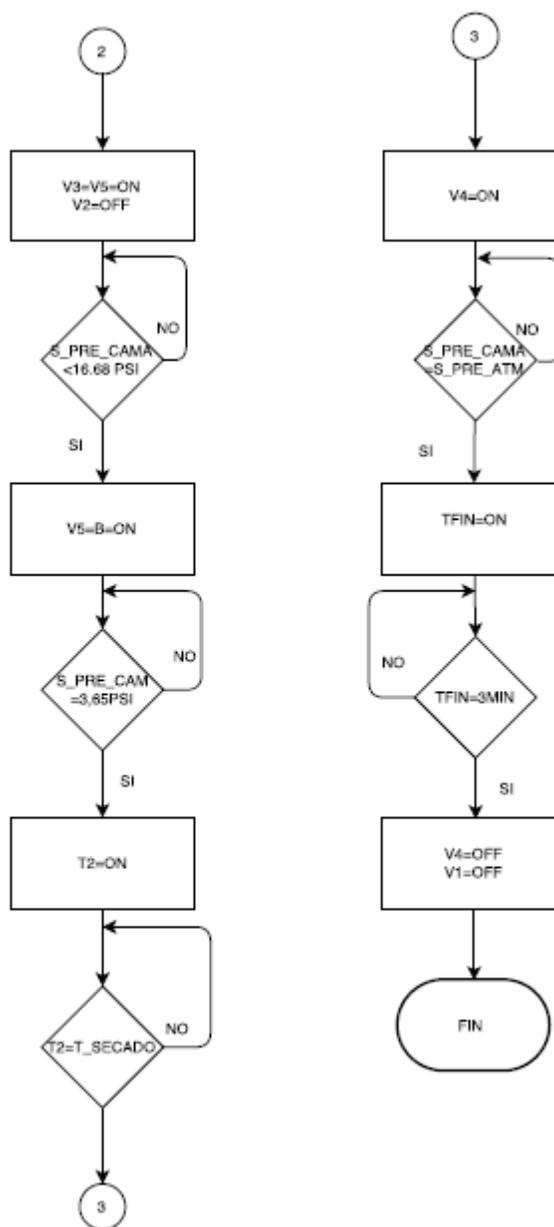


Figura 54 Etapa de desfogue, de secado y de equilibrio

La figura 54 se indica las etapas de desfogue, la etapa secado que corresponde a dos minutos y finalmente la etapa de equilibrio que al igual que los anteriores ciclos permitirá abrir la puerta.

El paquete de prueba de Bowie/Dick se debe poner en el interior de la cámara vacía lo más cerca posible de la base de la misma y de la puerta. El paquete debe situarse en posición horizontal, esto es con la hoja de prueba de Bowie/Dick paralela al piso de la cámara siendo conveniente que guarde igual distancia respecto a las paredes laterales de la misma. Realizar un ciclo de esterilización con los parámetros mencionados anteriormente, una vez terminado el ciclo de pruebas retirar el paquete, desarmarlo para evitar el riesgo de volver a utilizarlo y extraer la hoja de prueba de Bowie/Dick.

En un funcionamiento correcto de la autoclave, el color de la hoja debe haber cambiado el color uniformemente en toda su extensión y haber alcanzado el tono final recomendado por el fabricante la hoja.

El Equipo de prueba Bowie-Dick se presenta en la figura 55, en donde la primera imagen indica la prueba antes de ingresar a la cámara, la siguiente figura cuando los resultados son positivos y la última imagen representa una prueba fallida.



Figura 55 Hoja de B&D

Fuente: (Comply, 2013)

4.2 Operación del controlador y HMI del sistema

El controlador tiene diferentes funciones como medición de magnitudes y control de las válvulas para el control de los ciclos de esterilización y se encarga de procesar la información en tiempo real. Se usará HMI, como medio de interacción entre el operador y la máquina.

El sistema será modular, debido a la cantidad de entradas que requiere en cuanto a transductores de presión y temperatura que sea capaz de manejar señales de tipo 4-20 mA, con capacidad de remover cualquier dispositivo de manera que no requiera calibraciones.

Los sensores operan a 24VDC, pero estarán alimentados desde las fuentes con las que ya cuenta la autoclave, y la alimentación para estas fuentes también deberá suministrar la alimentación necesaria para el funcionamiento de las válvulas de 110 AC.

Cuenta con elementos de seguridad como las válvulas que controlan la sobrepresión, además de una parada de emergencia automática que se activara en el caso que la presión en la cámara o en la camisa sea superior a la permitida por las válvulas de seguridad, es decir que por falla de estas válvulas no desfogue vapor en el momento necesario, se contara con la seguridad de abrir la válvula V3 para desfogar la presión que se requiera.

4.2 Desarrollo del HMI

En la pantalla principal, como se indica en la figura 56, se encuentra la imagen de la autoclave, el nombre del hospital y la fecha en tiempo real de ejecución del programa.

La primera opción da paso a ingresar al operador a ejecutar cualquiera de los 3 programas de esterilización: Ropa instrumentos o la prueba que debe hacerse diariamente llamada Bowie Dick, en el caso de querer ingresar al menú de los técnicos se accederá al control de las válvulas y la bomba de manera manual así como la prueba directa en las tuberías.



Figura 56 Pantalla principal HMI

El primer ciclo corresponde a la esterilización de elementos indumentarios como ropa, además pueden esterilizarse materiales como gasas y elementos de curación. La siguiente opción será el acceso al ciclo de esterilización de instrumentos, y la última opción habilitará la prueba de Bowie Dick. La figura 57 corresponde a la pantalla de acceso del operador.

Al presionar el botón ROPA se presentará la pantalla del ciclo que corresponde a la esterilización de la ropa que, cuyos parámetros de ejecución son:

Temperatura de esterilización 121 °C, tiempo de esterilización de 15 minutos y 15 minutos de Tiempo de secado, pantalla que se puede observar en la figura 58.



Figura 57 Pantalla Operador

Lo primero que se aprecia en la pantalla, son las alarmas cuyas funciones se describen a continuación:

La primera alarma se activará cuando el sensor dispuesto para la presión atmosférica indique un valor diferente de 14 psi. La segunda alarma indicará cuando el sensor de temperatura mida un valor equivalente a cero, ya que lo mínimo que debe medir es la temperatura ambiente es decir, 23°C. La tercera alarma corresponde a la presión que se mide en la camisa, la cual no debe superar los 45 psi, esto definido así por el fabricante del equipo, y la cual se corrobora con una válvula de seguridad mecánica externa del equipo que se activa en este valor. Finalmente una alarma cuando se mide una presión de 40 psi en la cámara, que al igual que en la camisa es el límite permito según datos de fabricante.

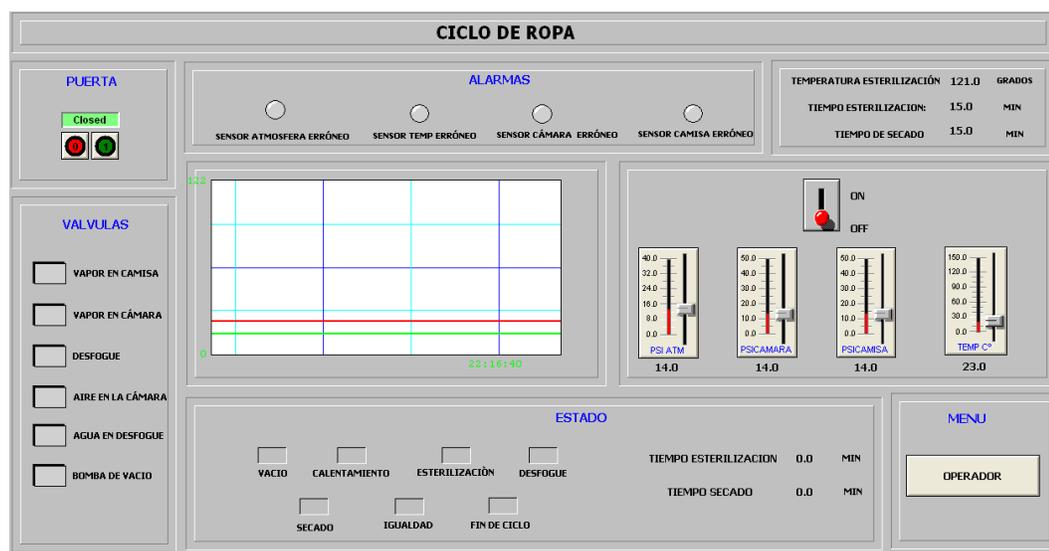


Figura 58 Ciclo de Ropa

Durante el funcionamiento del ciclo puede verse la activación de cada una de las 5 válvulas y de la bomba, ubicados al lado izquierdo de la pantalla. En la parte inferior izquierda se encuentra las luces que indican en que parte del proceso se encuentra el ciclo.

Los temporizadores que indican el tiempo de esterilización y de secado se encuentran al lado derecho junto a los indicadores de las etapas del ciclo, y finalmente, los sliders que simularán las entradas de los 3 sensores de presión y el sensor de temperatura.

En la figura 59, el ciclo a esterilizar instrumentos, cuenta con los mismos botones alarmas e indicadores que el ciclo de ropa, su única diferencia son los parámetros que se requieren para esterilizar este tipo de material, es decir al aumentar la temperatura, se reduce el tiempo de exposición a 3 minutos. De esta manera se mantiene una armonía en las pantallas.

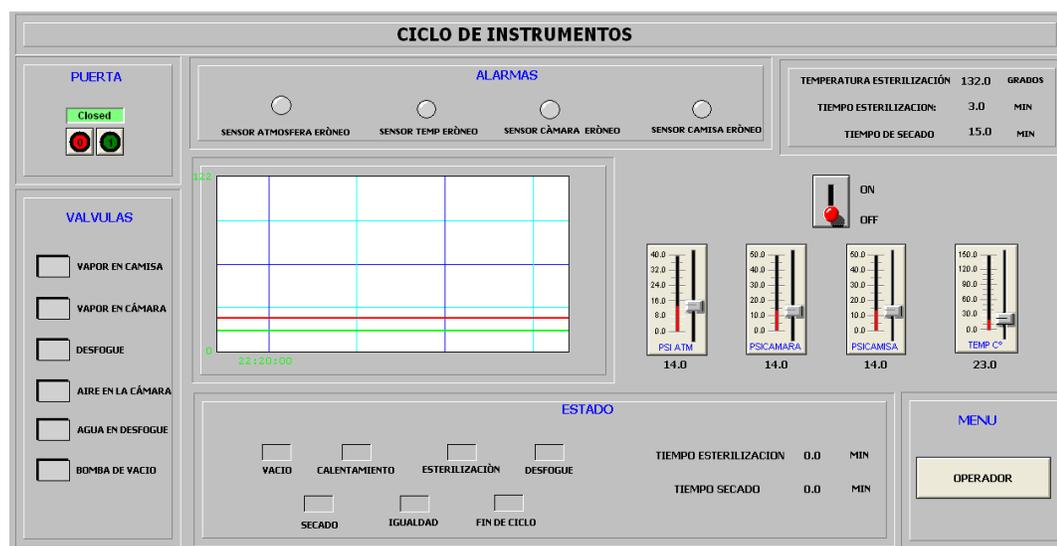


Figura 59 Ciclo de Instrumentos

En la tercera pantalla, se accede al ciclo de Bowie Dick, pantalla similar a las anteriores, como puede observarse en la figura 60. Los parámetros de temperatura y tiempos de esterilización y secado, son configurados con el fin de comprobar que en 3 min y la penetración del vapor en los paquetes a esterilizar sea la adecuada. De esta manera se podrá acceder a cualquiera de los 3 procesos que requiere el operador.

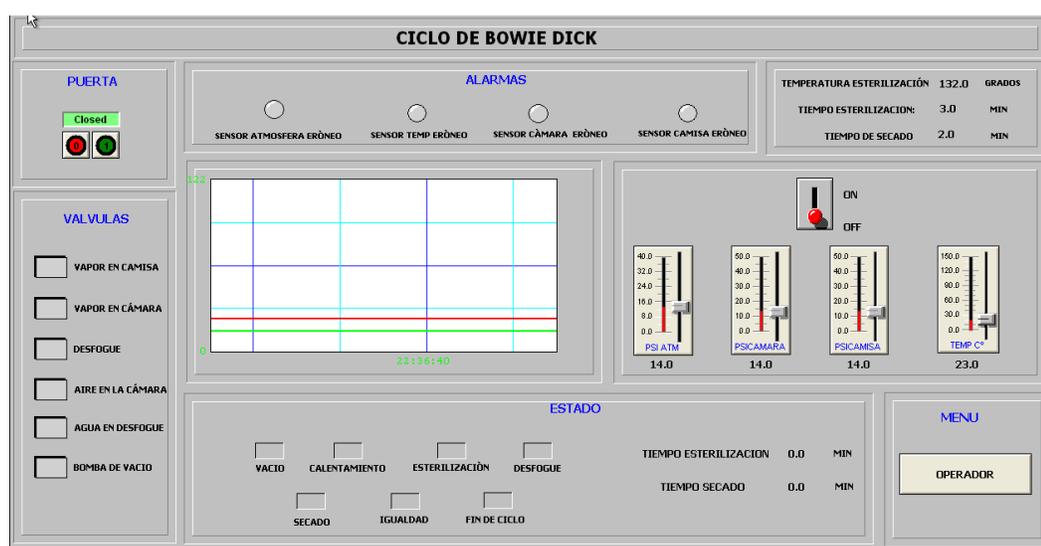


Figura 60 Ciclo de Bowie Dick

En cuanto al acceso de los técnicos, se ha diseñado un ciclo que permita evaluar las fugas en las tuberías, este método ha sido diseñado para monitorear durante presiones bajas el comportamiento de la presión en la cámara donde la fluctuación permitida es de 0.4 psi, la figura 61 indica pantalla de los técnicos, que permite el acceso no solo a la prueba de fugas sino además a la revisión manual de las válvulas y de la bomba.

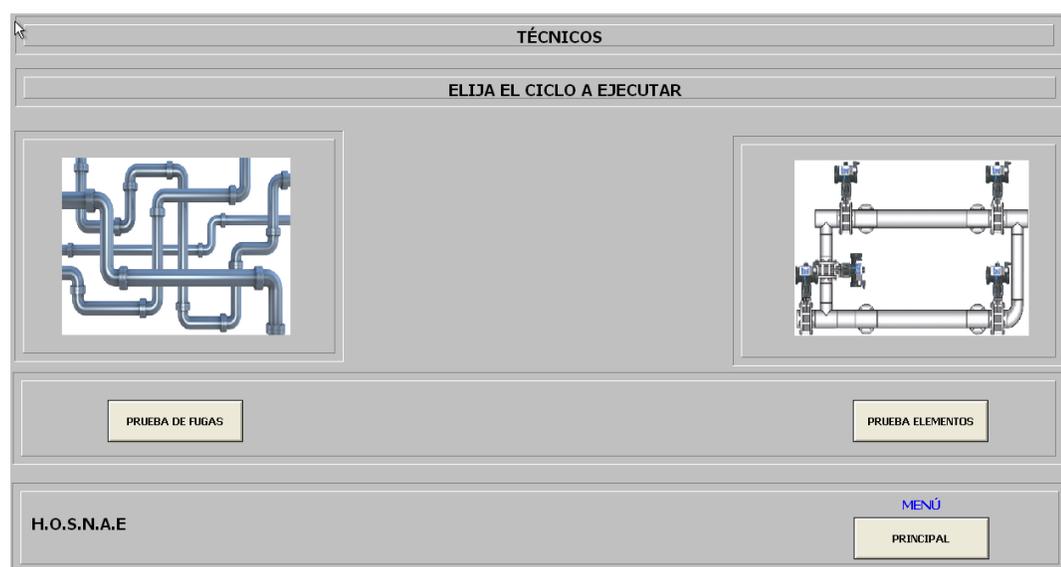


Figura 61 Pantalla técnicos

Si se accede a la prueba de fugas se desplegará la pantalla de la figura 62. En esta pantalla se muestran las alarmas, al igual que en las pantallas anteriores y los indicadores de las 3 etapas de este ciclo indican el vacío tiempo de 5 minutos de estabilización y los 10 minutos posteriores que se encargarán de monitorear la fluctuación de presión, que debe ser menor o igual a 0.4 psi.

Luego de este tiempo de monitoreo, se evaluará el ultimo valor registrado, que permita analizar si hay o no fugas en las tuberías. El rango permitido será de 1.1psi a 1.9psi, cualquier valor por encima del máximo o por debajo del mínimo indicado, dará paso a encender la luz indicadora es decir se encenderá la luz de fugas permitiendo así a los técnicos evaluar el estado de las tuberías.

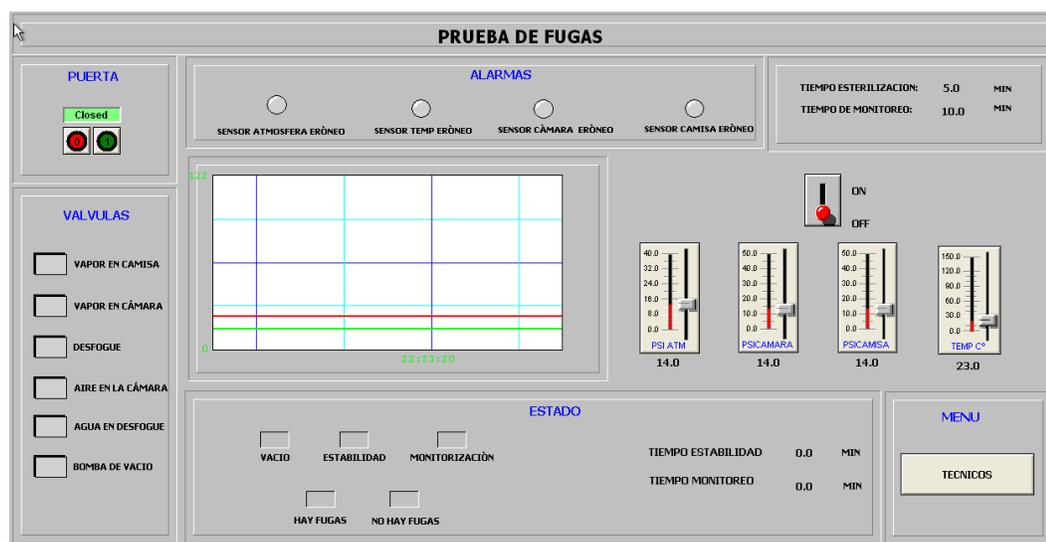


Figura 62 Ciclo de prueba de fugas

La última pantalla permite el acceso a la activación directa de los elementos de control, es decir válvulas y bomba, con el fin de realizar una prueba rápida de cada elemento sin necesidad de abrir el equipo para verificar el funcionamiento interno.

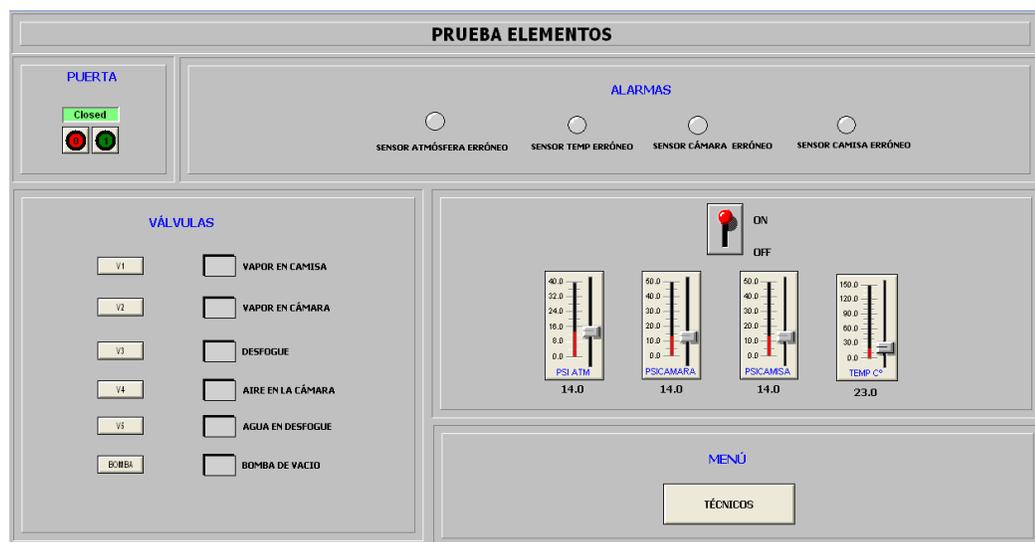


Figura 63 Prueba manual de Elementos de control

En la figura 63, se puede apreciar la distribución de los elementos, al igual que en las pantallas anteriores se tiene en la parte superior las alarmas que indican fallas en los sensores o medidas de peligro para la ejecución de los ciclos o de pruebas.

4.3 Programación del PLC

El primer graficet, figura 64, representa la lógica del programa principal en donde se realiza la verificación de los valores de los sensores, evaluando constantemente y con la condición de generar alarmas cuando se detecten valores anormales.

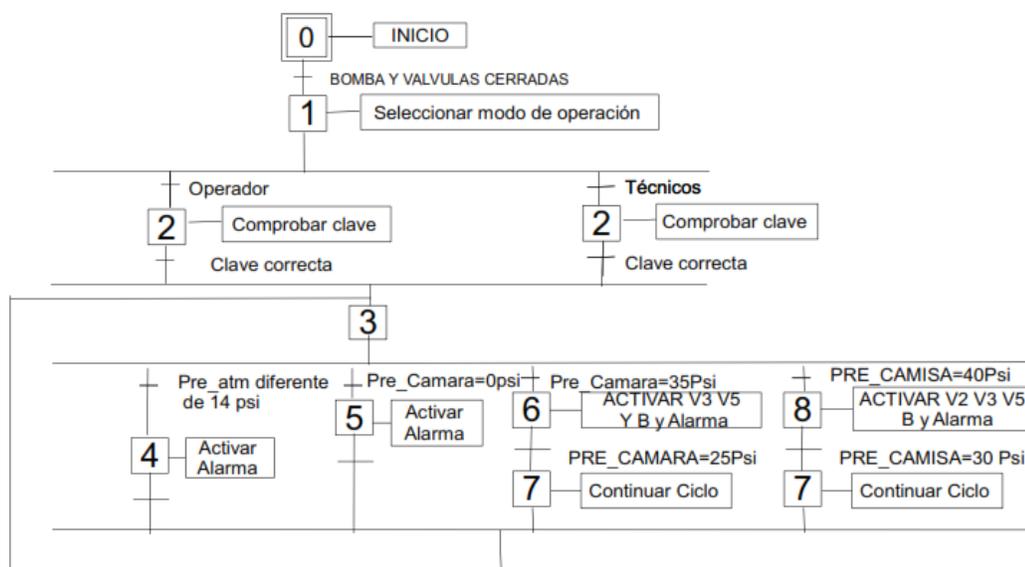


Figura 64 Graficet principal

La figura 65 representan los 3 ciclos de esterilización, durante la ejecución de cada uno se asignan los parámetros de temperatura, tiempo de esterilización y el tiempo de secado correspondiente a cada ciclo, Ropa, Instrumentos o Bowie Dick.

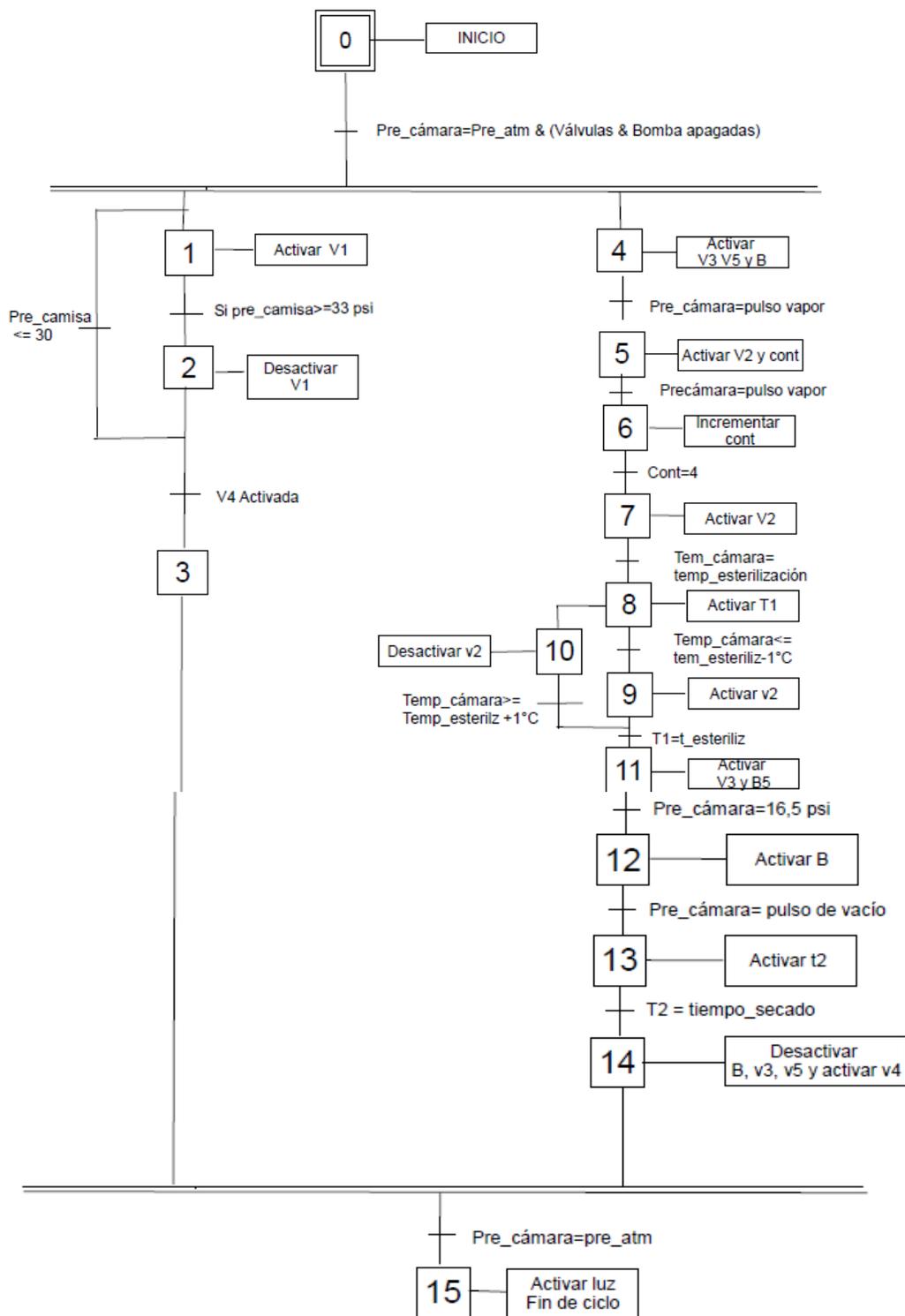


Figura 65 Grafcet Ciclos de esterilización

El paso para activar cada ciclo de esterilización, se representa en el siguiente graficet, el proceso es el mismo para cada ciclo, para ejecutarse el ciclo dependerá del estado de cada sensor, es decir el punto de arranque de ejecución de los ciclos, además del interruptor de inicio, será detectar el equipo en condiciones iniciales, es decir elementos apagados, y presión de la cámara igual a la presión atmosférica; únicamente en este estado además de tener la puerta cerrada, permitirá ingresar a ejecutar cada ciclo.

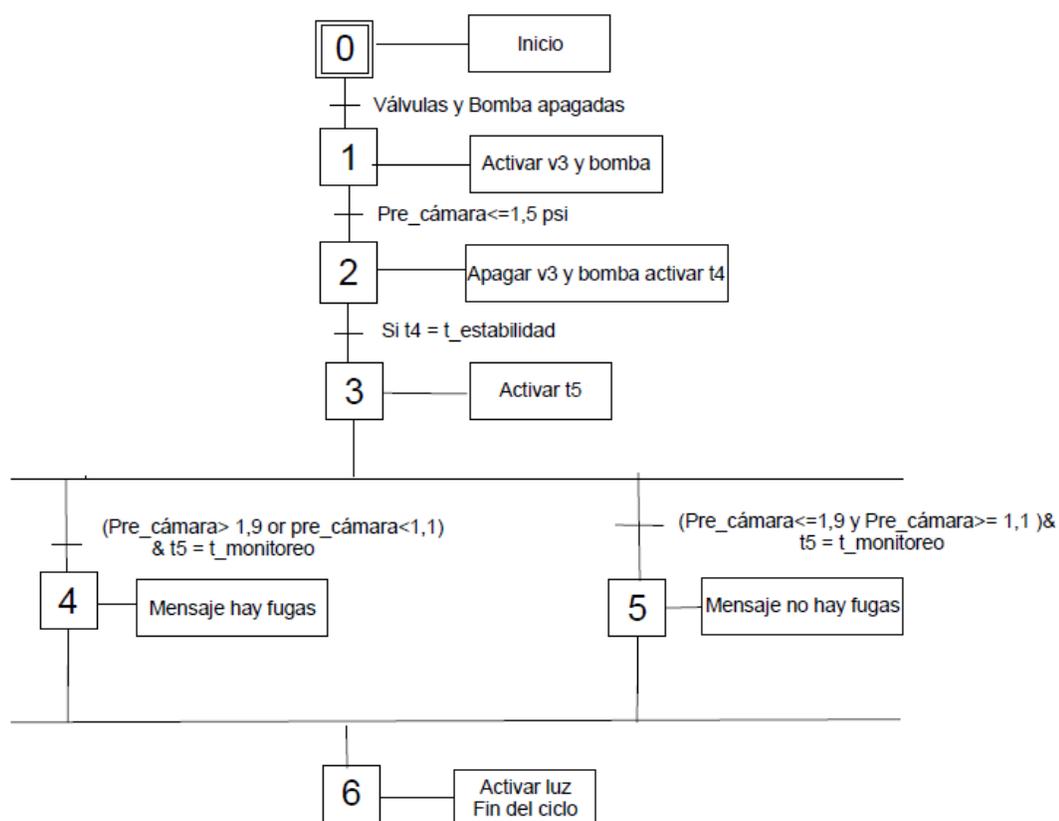


Figura 66 Graficet Prueba de fugas

En la figura 66 se indica el graficet que corresponde a la prueba de fugas de aire, que al igual que en los ciclos, solo se ejecutara cuando los elementos se encuentren apagados, las condiciones iniciales sean las apropiadas de cada sensor e irá evaluando según tiempos de monitoreo y estabilidad las condiciones de fuga que se presenten durante este tiempo.

En el último capítulo, finalmente se demostrará el funcionamiento de cada válvula que permitirá cumplir con el diagrama de tiempos correspondiente a cada ciclo. La activación en secuencia de las válvulas y la bomba respectivamente permitiendo cada etapa durante la esterilización.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Simulación funcionamiento Prueba de elementos

Las condiciones iniciales para las pruebas de los elementos, al igual que para cualquier ciclo deben ser:

Sensor de presión atmosférica= presión atmosférica,

Sensor de presión de la camisa= presión atmosférica,

Sensor de presión de la cámara= presión atmosférica,

Sensor de temperatura= temperatura ambiente 23°C.

Al tener las lecturas de los sensores como se indica y solamente teniendo la puerta cerrada, podrán activarse las válvulas, mientras esté abierta se hará caso omiso como puede verse en la figura 67.

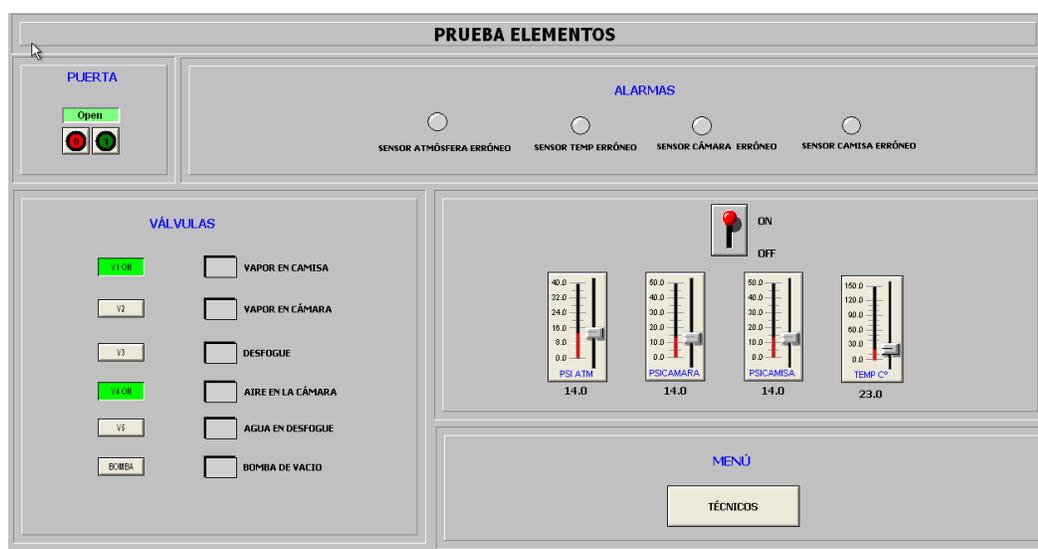


Figura 67 Activación de válvulas con la puerta abierta

En la figura 68 se indica la puerta cerrada y por tanto las válvulas pueden ser activadas, para efectos de simulación se incrementan los valores de presión en la camisa y en la cámara, lo cual sucedería en caso de activar las válvulas de ingreso de vapor.

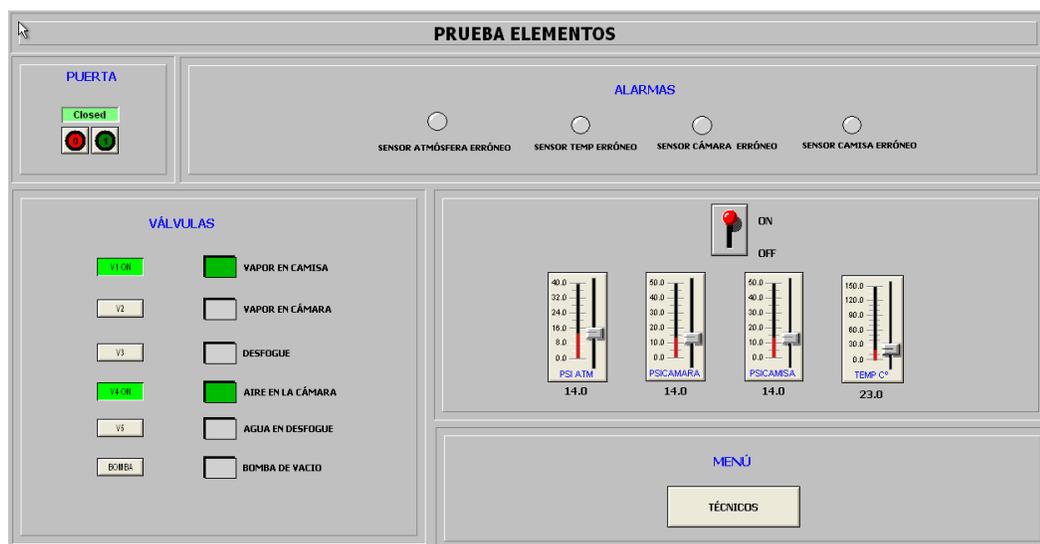


Figura 68 Activación de válvulas con la puerta cerrada

Se tiene 4 alarmas, estas se activan de no tener las mediciones correctas en cada sensor, para efectos de simulación, se ingresarán datos de presión y temperatura que sugieran un posible daño en ellos, como se indica en la figura 69.

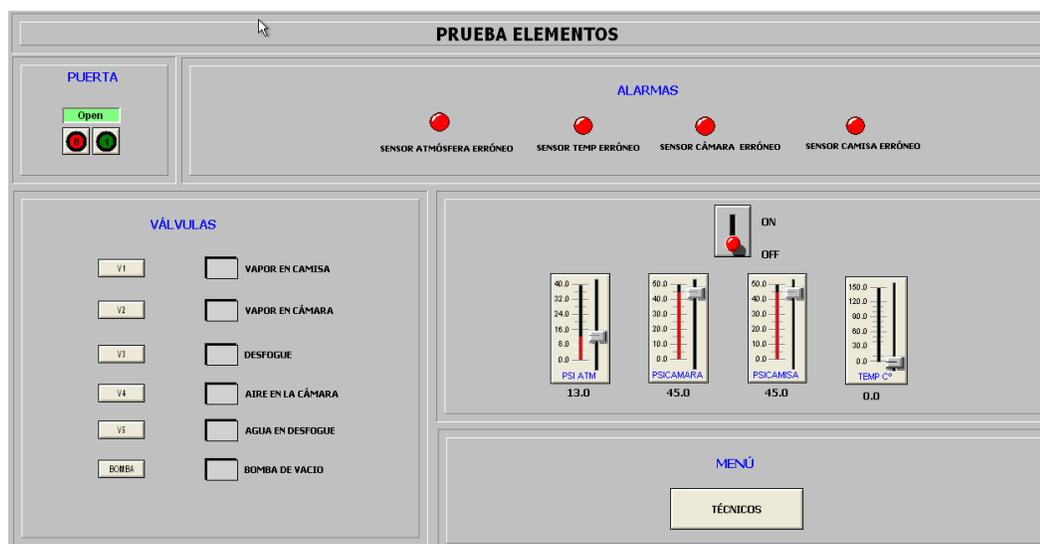


Figura 69 Activación de alarmas

5.2 Prueba de funcionamiento de ciclo ropa

Este primer ciclo se inicia luego de comprobar que la puerta esté cerrada y que la presión de la cámara sea igual a la atmosférica, en la figura 70 se indica que no se inicia hasta dar inicio.

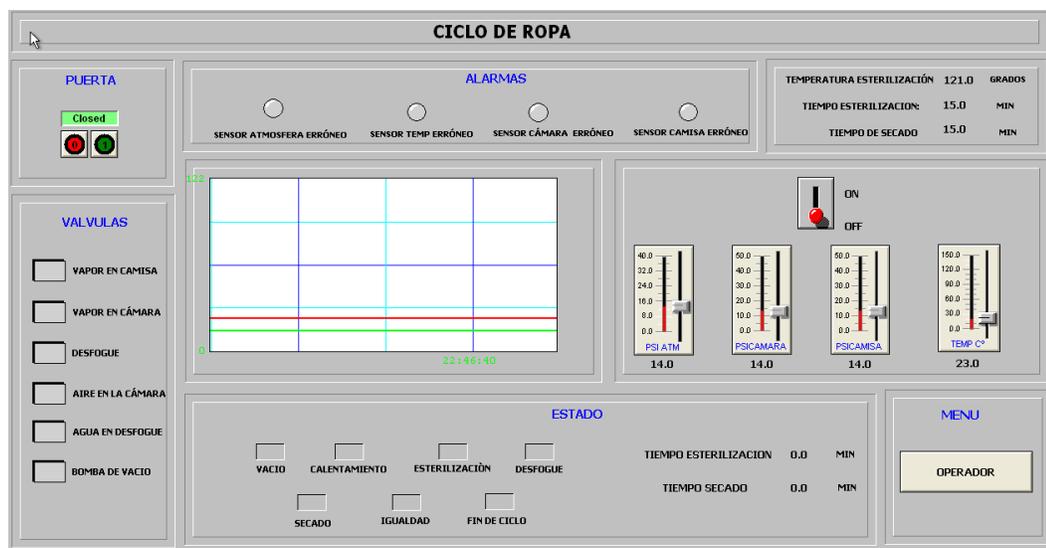


Figura 70 Ciclo de Ropa

Las simulaciones de los valores de los sensores de presión y de temperatura permitirán evaluar el control sobre las válvulas para que cumplan con el diagrama de tiempos de cada ciclo.

Como se indica en la figura 71 se inicia el ciclo con la presión en la cámara de 14 psi, se activa V1, V3 y la bomba, cuya acción hará que el equipo realice la etapa de vacío, eliminando el aire que se encuentra en la cámara hasta un valor de 3,6 psi.

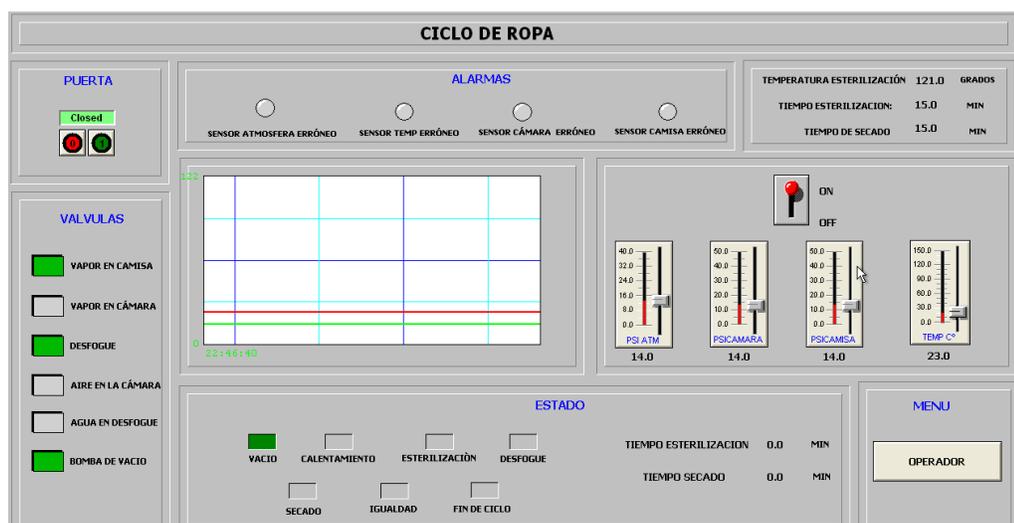


Figura 71 Etapa de vacío

En cuanto se tiene la medición de 3.6 se desactiva la válvula de desfogue y da paso a q se active la válvula de ingreso de vapor a la cámara

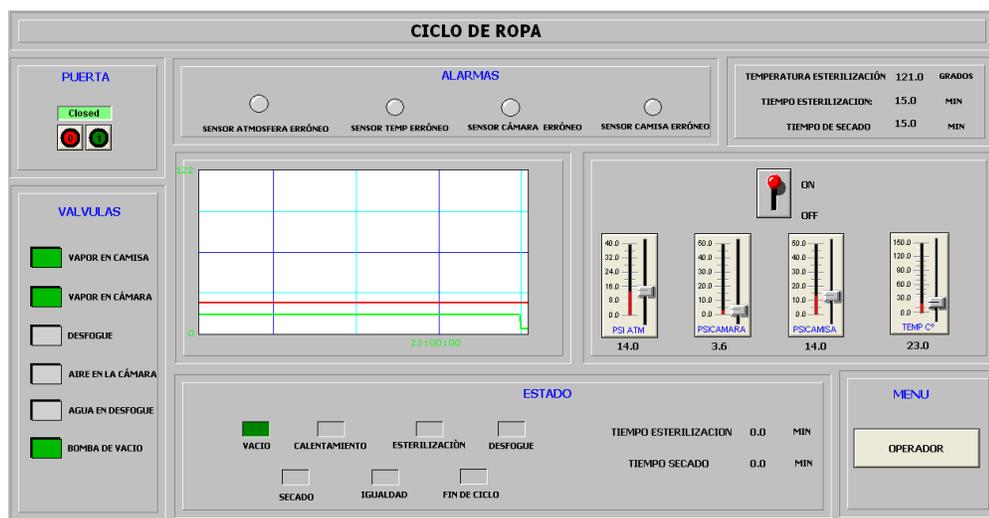


Figura 72 Activación de V2 para generar pulso de vapor

En cuanto sensa el valor de 23.5psi, como se indica en la figura 73, se activa de nuevo la válvula de desfogue, pero esta vez con la válvula de agua en desfogue, es decir válvula de alivio, ya que se tiene vapor en la cámara y requiere de agua para disminuir el vapor que saldrá. Esta es la razón por la cual no se activó en el primer pulso de vacío, porque la cámara se encontraba con una presión igual a la atmosférica y no era necesario activarla.

Al activarse la V3 pasará a generar el pulso de vacío llevando la presión en la cámara de nuevo al valor de 3.6psi y cuando sense de nuevo se repetirá el procedimiento de activación de la válvula de ingreso de valor a la cámara llevando la presión de la cámara a 23.6 psi, Durante esta etapa del proceso, llamada VACIO, se realizan 4 pulsos de vacío y 3 de vapor.

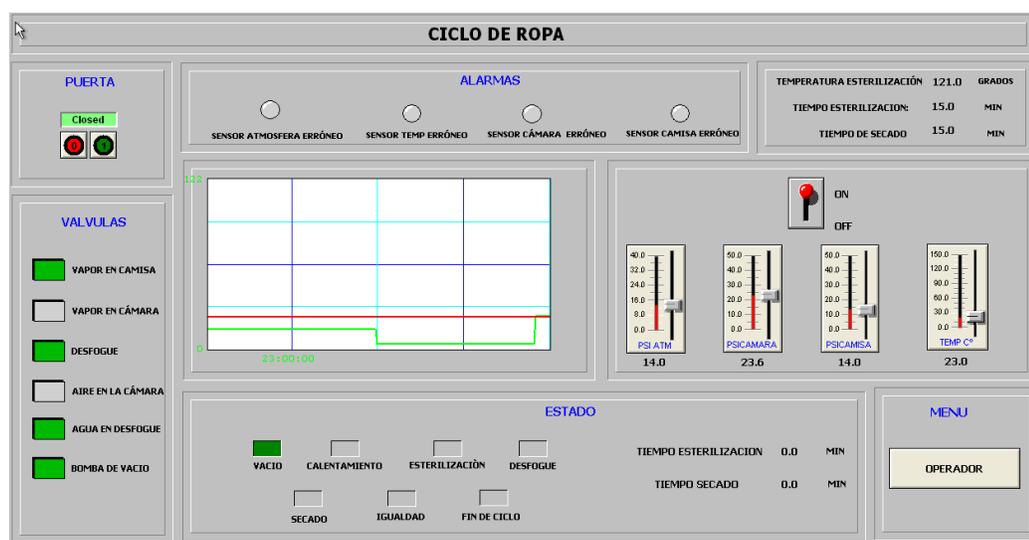


Figura 73 Activación de V3 para generar pulso de vacío

Al sensar por 4 vez la presión del pulso de vacío, quedan activadas únicamente las válvulas de ingreso de vapor, pasando así a la etapa de calentamiento de la cámara acción que eleva la presión de la cámara haciendo subir la temperatura como se indica en la figura 74.

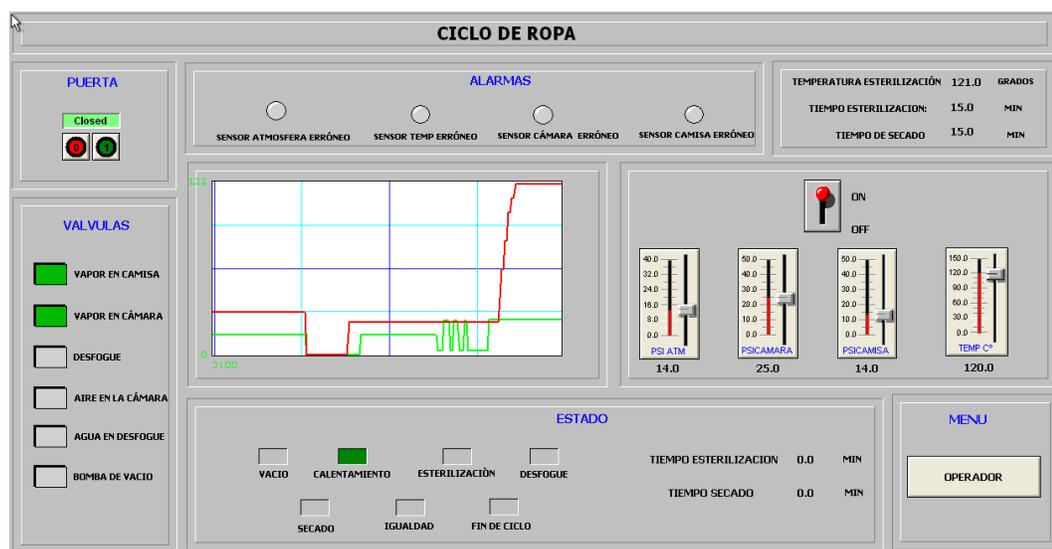


Figura 74 Etapa de calentamiento

Al sensor 121°C, temperatura de esterilización, inicia el tiempo de 15 minutos donde se controla la temperatura realizando un control ON OFF sobre la válvula V2 como se indica en la figura 75.

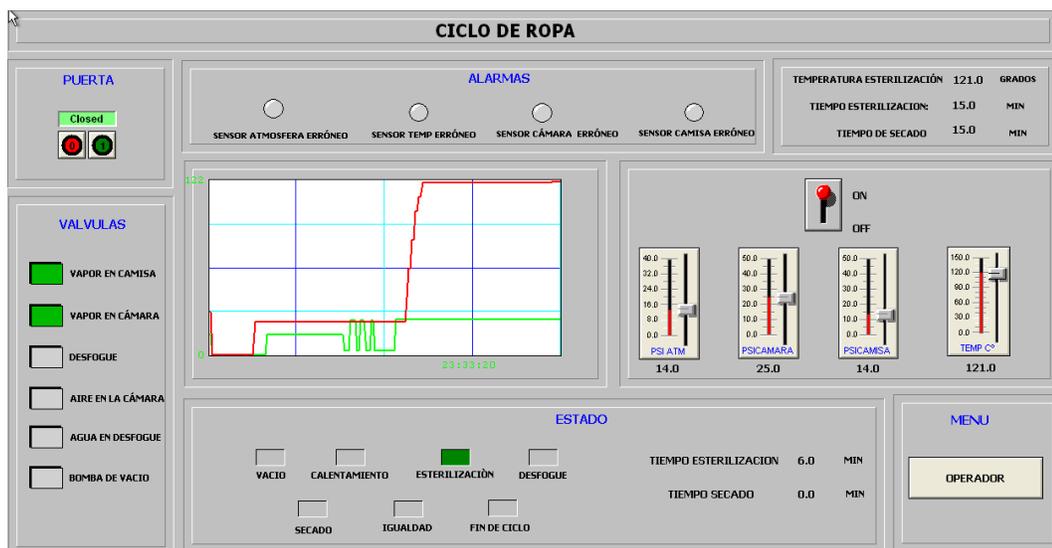


Figura 75 Etapa de esterilización

Luego de los 15 minutos de esterilización, se activa automáticamente las válvulas de desfogue con el fin de evacuar el vapor.

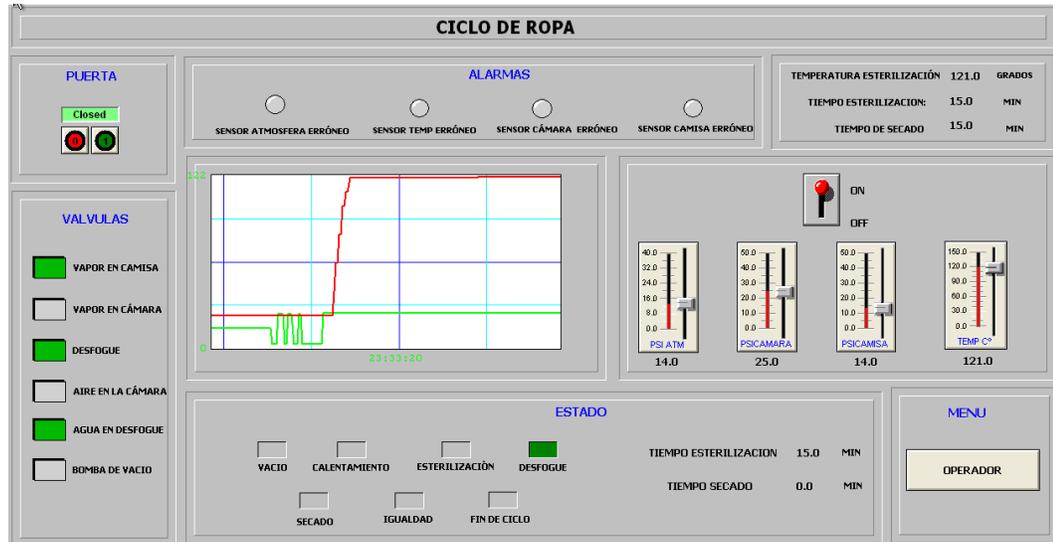


Figura 76 Etapa de desfogue

En 16.6 psi se activa la bomba para acelerar el proceso de desfogue, y con el fin de llevar la presión de nuevo al pulso de vacío de 3,6 psi.

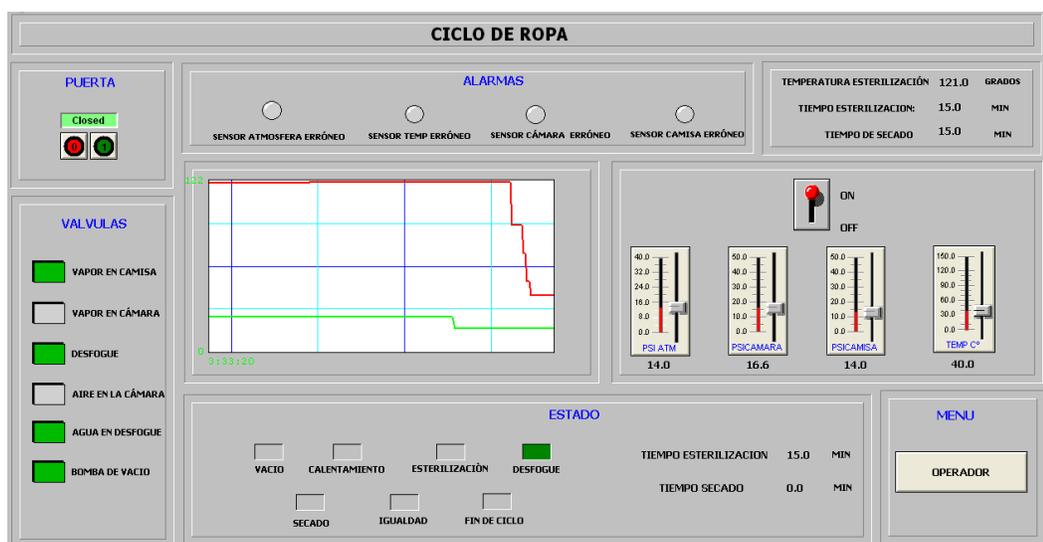


Figura 77 Activación de la bomba durante la etapa de desfogue

Al momento de tener 3.6 psi de nuevo en la cámara se iniciara el ciclo de secado por 15 minutos.

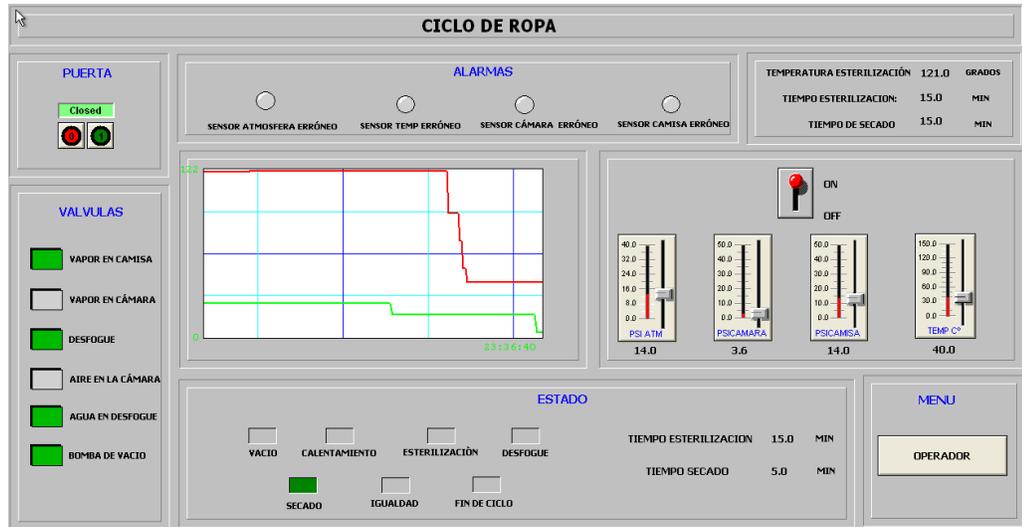


Figura 78 Etapa de secado

Al terminar este tiempo se activará la válvula 4, cuya función es la de ingresar aire a la cámara para igualar las presiones.

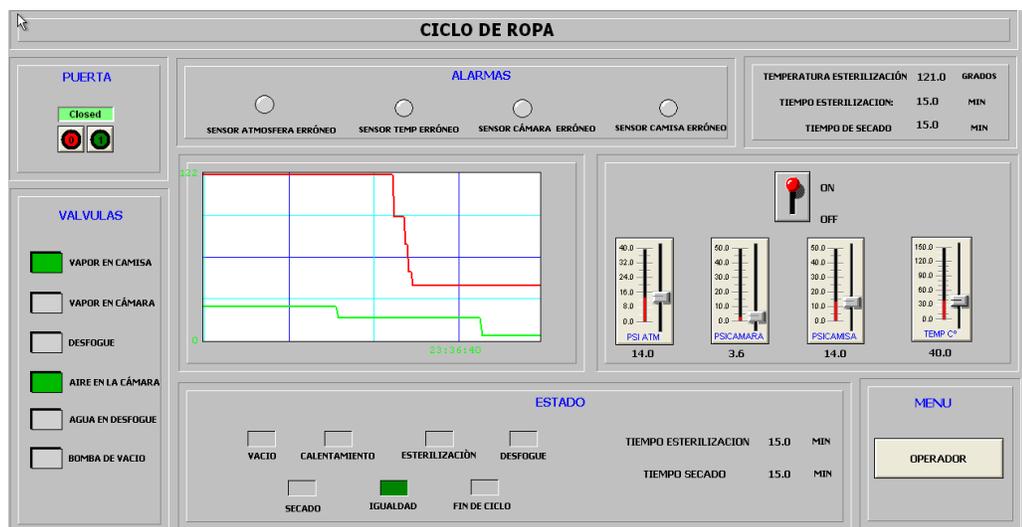


Figura 79 Etapa de igualdad de presiones

En la figura 80 se muestra finalmente, que al igualarse la presión de la cámara a la presión atmosférica se finaliza el ciclo

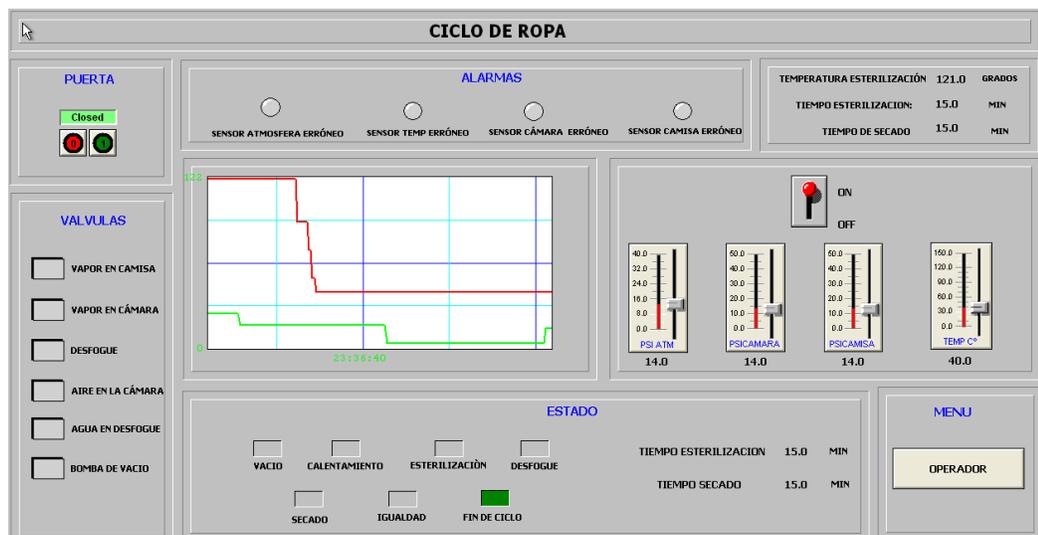


Figura 80 Fin de ciclo

Inmediatamente se habilitará la opción de regresar al menú de operador para escoger otro ciclo, o en caso de querer el mismo simplemente activar de nuevo el interruptor

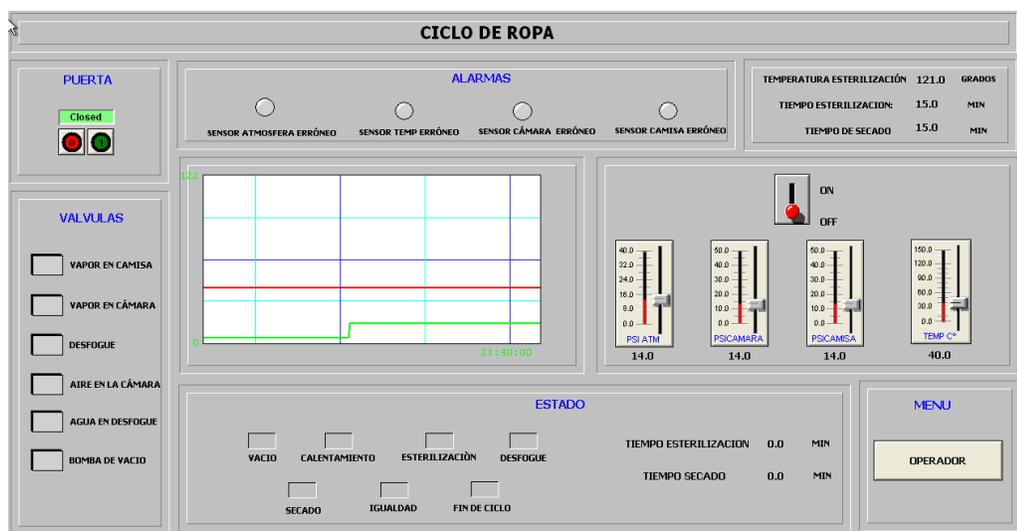


Figura 81 Opción de nuevo ciclo

5.3 Prueba de funcionamiento de ciclo de instrumentos

El proceso es el mismo que para esterilizar la ropa, su diferencia radica en los parámetros de esterilización, es decir la temperatura que se requiere en este ciclo es de 132°C por lo tanto se requiere un menor tiempo de exposición, para el caso es de 3 min.

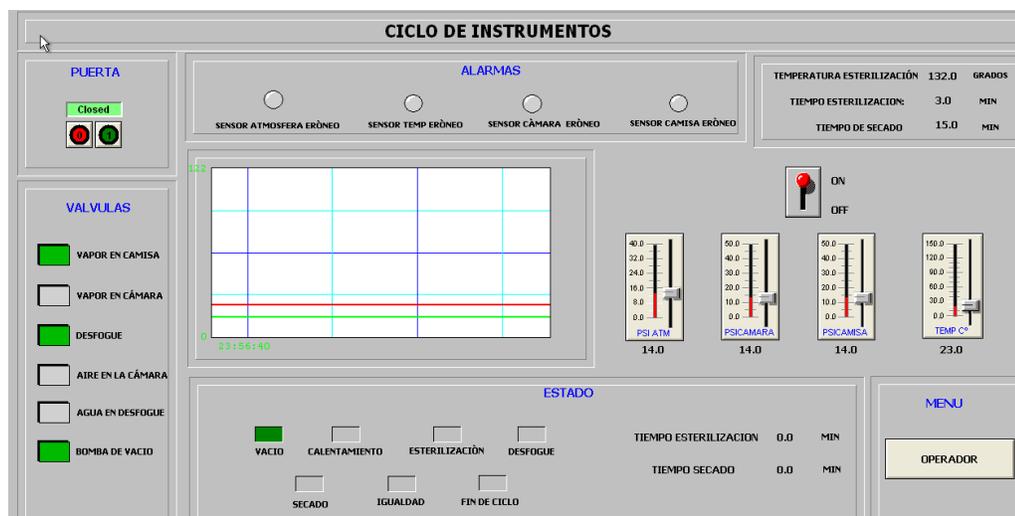


Figura 82 Etapa de vacío

Se indicará solo las simulaciones, para no ser redundantes en la información, este ciclo al igual que el de Bowie Dick cumple la misma secuencia, con parámetros diferentes. En la etapa de calentamiento se lleva la temperatura a 132°C como se indica en la figura 83.

Las figuras 82 y 83 indican las primeras dos etapas del ciclo, vacío y calentamiento, la diferencia con el ciclo anterior, es que el calentamiento, se llevará hasta que en la cámara halla 132°C,

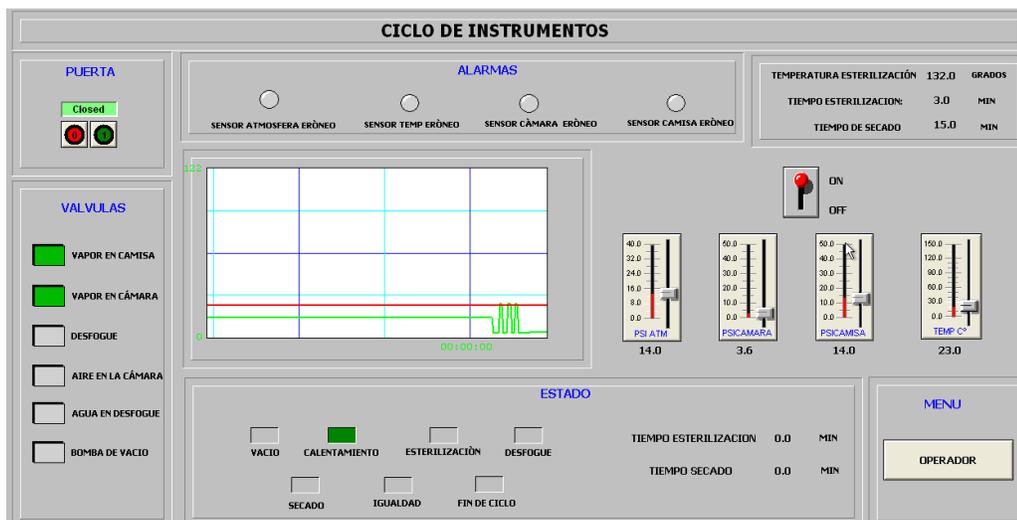


Figura 83 Etapa de calentamiento

Al llegar a 132°C al luego se esterilizará durante 3 min como se indica en la figura 84.

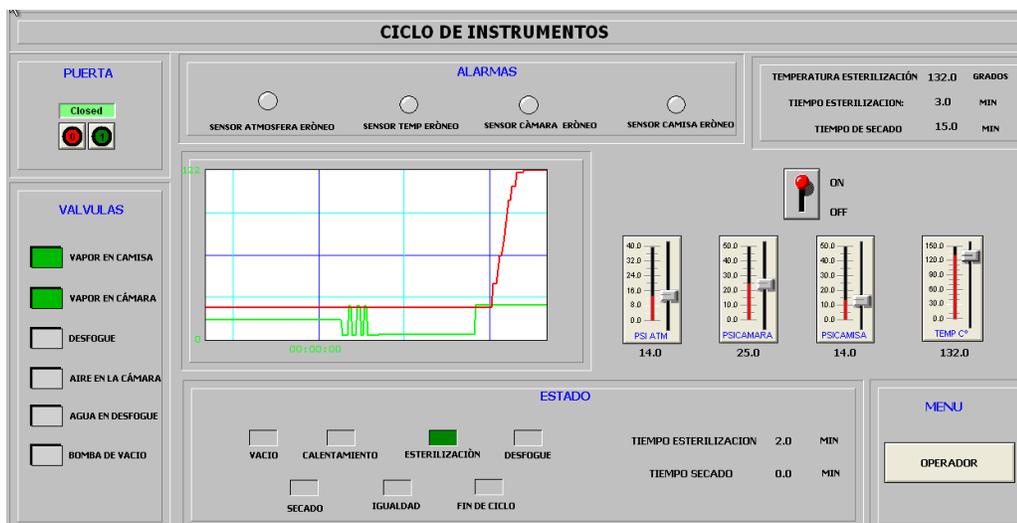


Figura 84 Etapa de esterilización

Terminado el tiempo de esterilización se pasa a desfogar el vapor a través de V3, y las siguientes etapas funcionan de la misma manera.

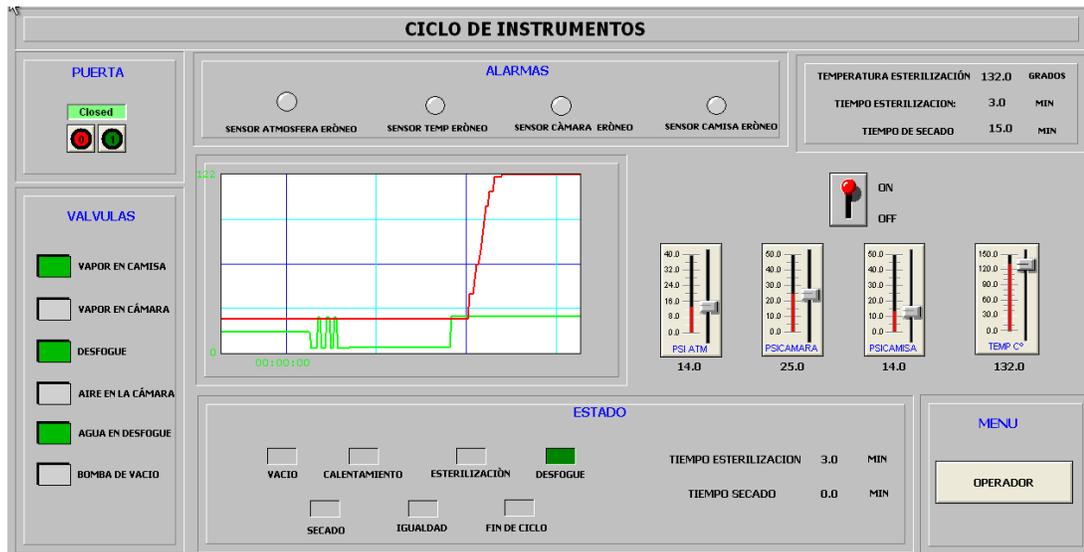


Figura 85 Etapa de desfogue

Se activa la bomba en 16.8psi como se indica en la figura 86

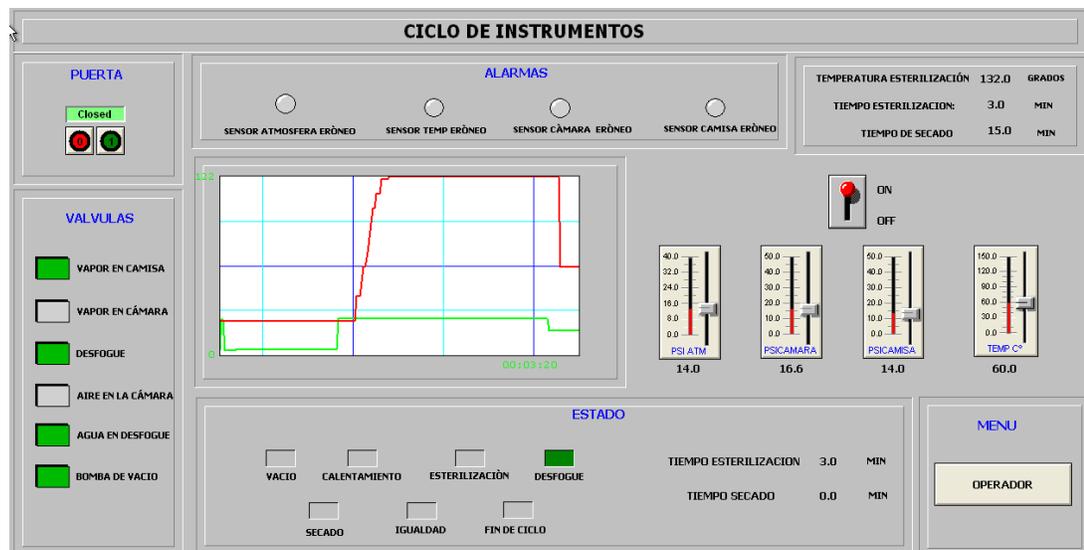


Figura 86 Activación de la bomba

Al sentir el pulso de vacío se inicia el tiempo de secado.

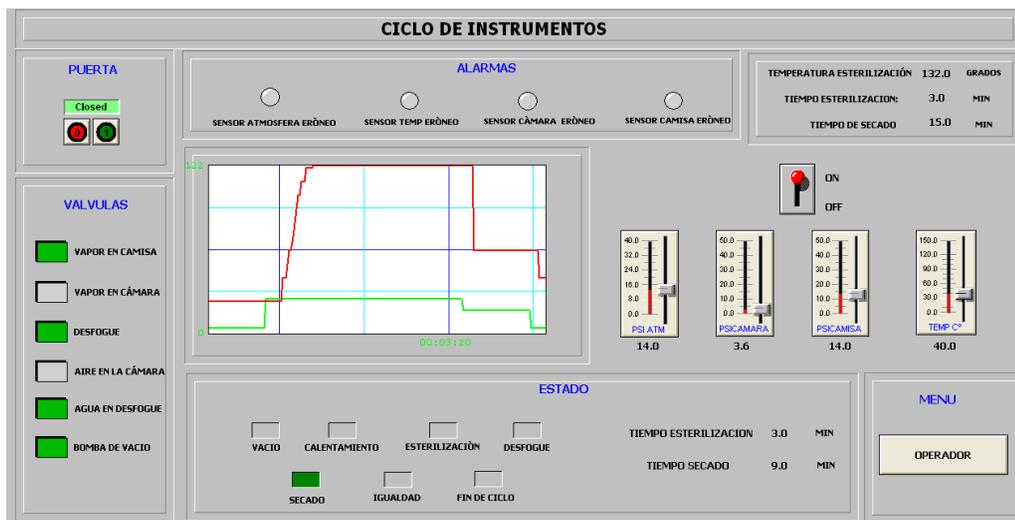


Figura 87 Etapa de secado

Una vez terminado el tiempo de secado se activa la válvula de ingreso de aire para equilibrar las presiones

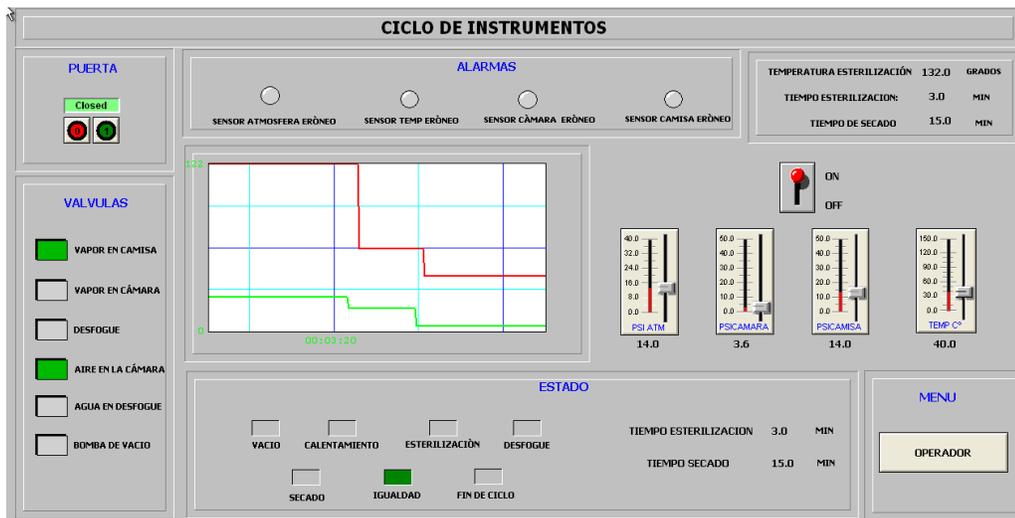


Figura 88 Etapa de equilibrio

Una vez que se llega al equilibrio, finaliza el ciclo y puede abrirse la puerta como se ve en la figura 89.

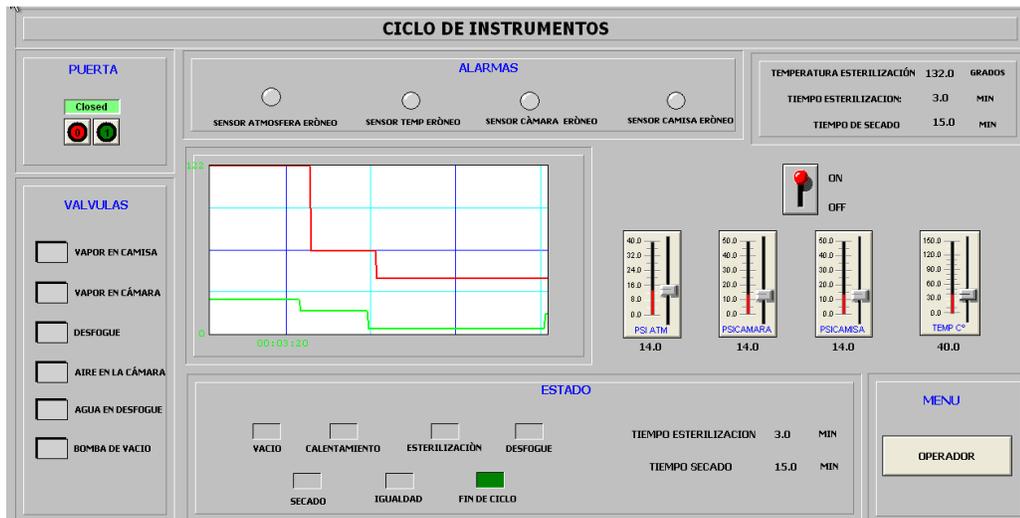


Figura 89 Fin de ciclo

5.4 Prueba de funcionamiento de ciclo fuga de aire

El programa diseñado para comprobar fugas de aire, se despliega en la figura 90. Al activar el ciclo, la primera etapa es generar un vacío en la cámara activando la válvula de desfogue V3, y la bomba.

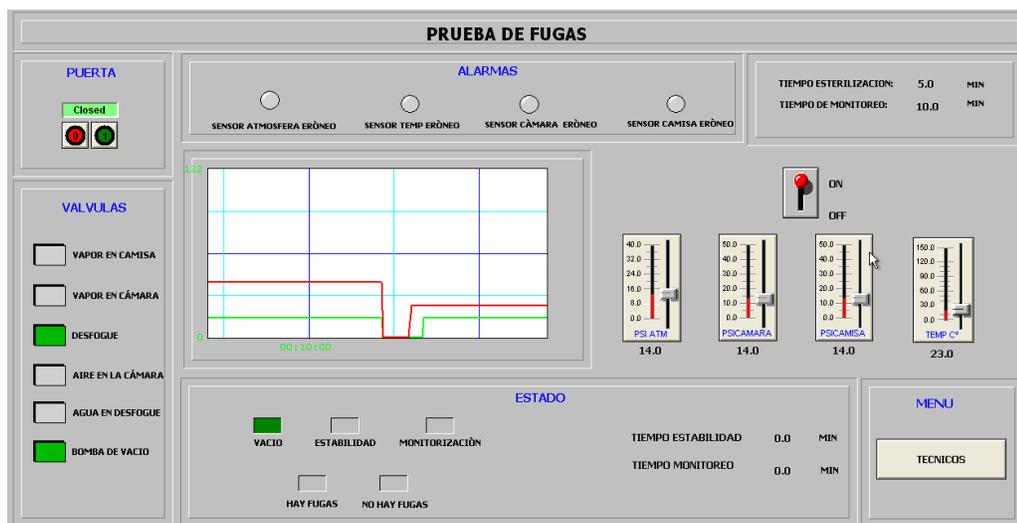


Figura 90 Etapa de vacío de 1.5 psi

Cuando se tiene la presión de 1.5 psi en la cámara pasará a la etapa de estabilidad en donde se cierran todas las válvulas

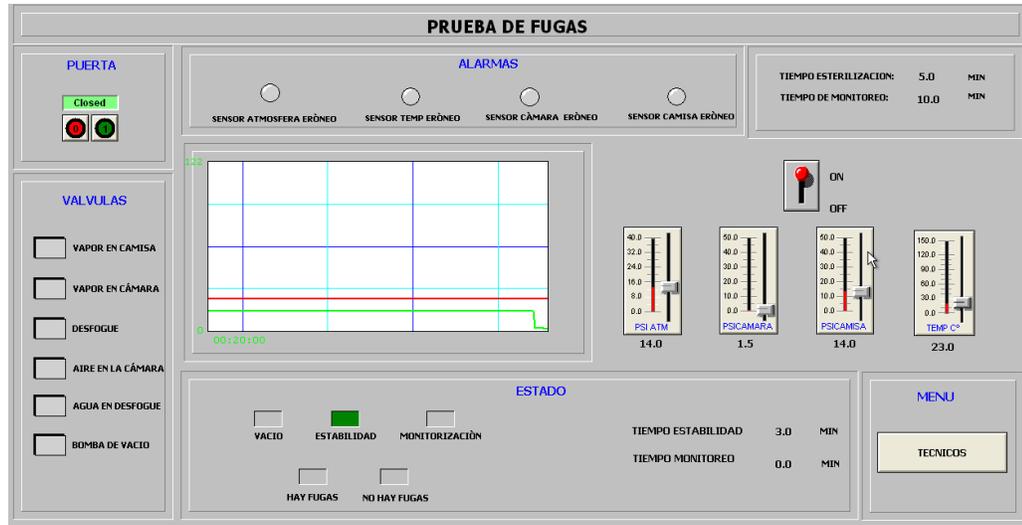


Figura 91 Etapa de estabilidad

Luego de los primeros 5 minutos, se activa el temporizador de la etapa de monitoreo, que permitirá analizar la fluctuación de presión, y donde su aceptación es una variación de 0.4 psi

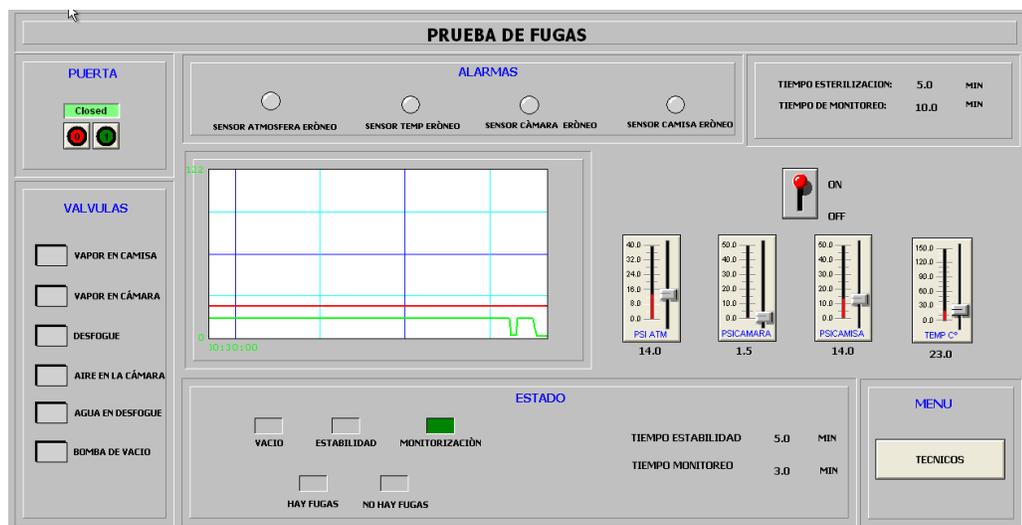


Figura 92 Etapa de monitoreo

Al termino de los 10 minutos donde no varió la presión, el resultado es el mensaje de no hay fugas, inmediatamente se activa la válvula que permite el ingreso de aire a la cámara para equilibrar la presión y que sea permitido abrir la puerta, como se indica en la figura 93.

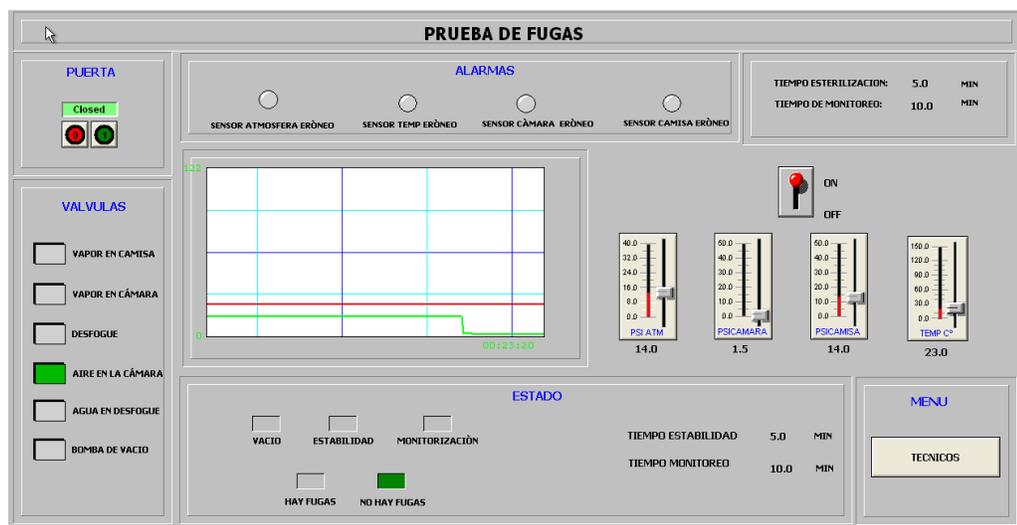


Figura 93 Mensaje no hay fugas

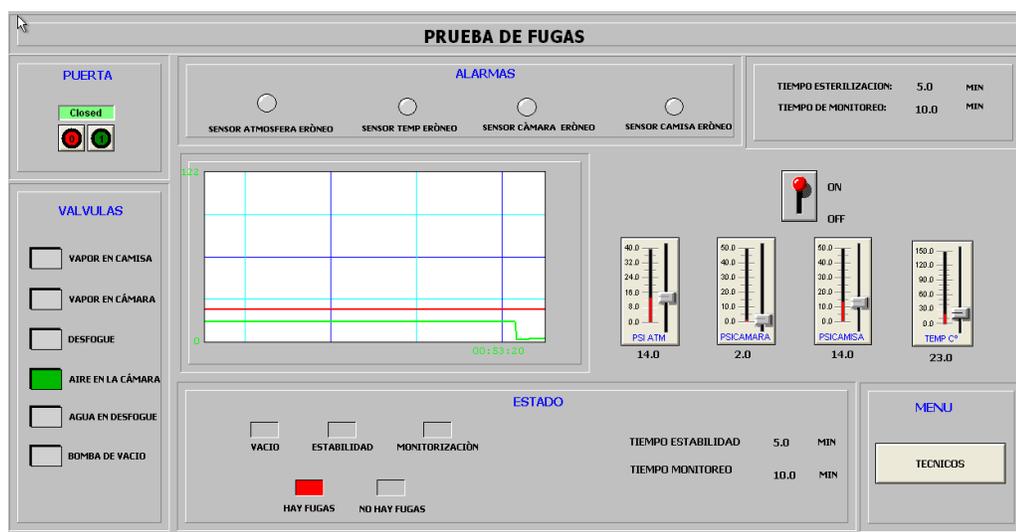


Figura 94 Fugas presentes

Al haber una caída de presión fuera del rango permitido, como ejemplo se tiene 2 psi, aparecerá el mensaje de fugas como se indica en la figura 94.

5.5 Prueba de funcionamiento de Bowie Dick

Al igual que los ciclos de esterilización, este ciclo cumple las mismas etapas pero sus parámetros de esterilización están configurados en: 134°C en un tiempo de 3 minutos y 2 minutos de secado.

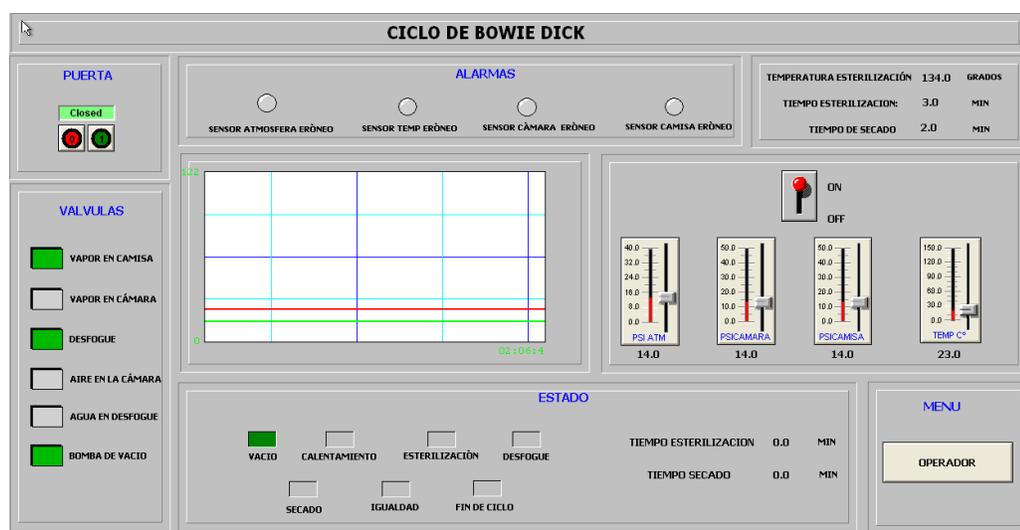


Figura 95 Etapa de vacío

Se calienta la cámara hasta 134°C, como se indica en la figura 96

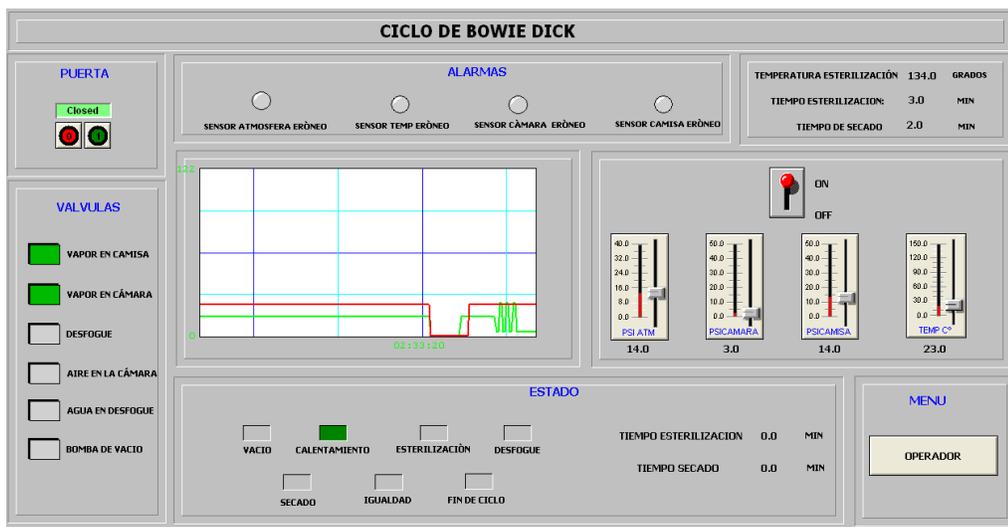


Figura 96 Etapa de calentamiento

Al llegar a 134°C se inicia el tiempo de esterilización de 3 minutos, como en la figura 97.

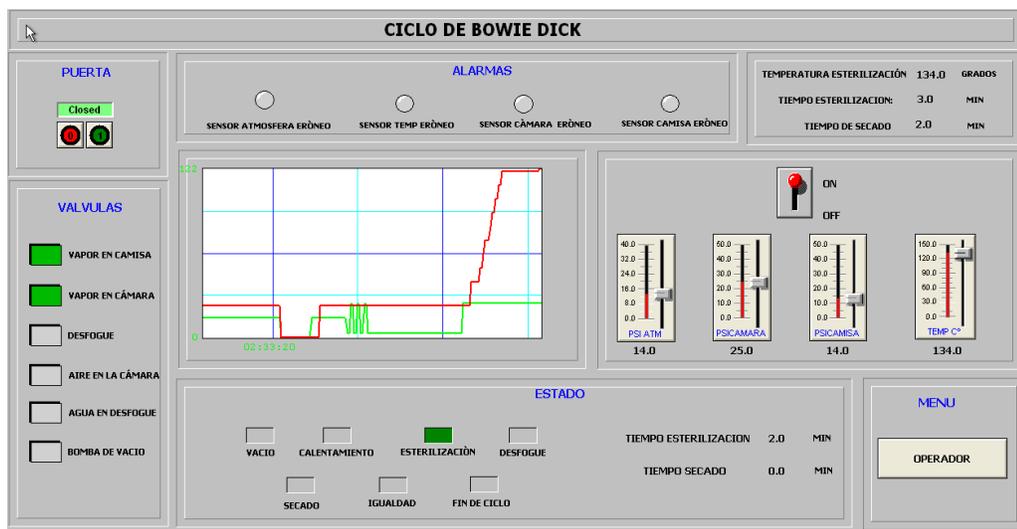


Figura 97 Etapa de esterilización

En la figura 98, al llegar al tiempo de los 3 minutos, se inicia la etapa de desfogue

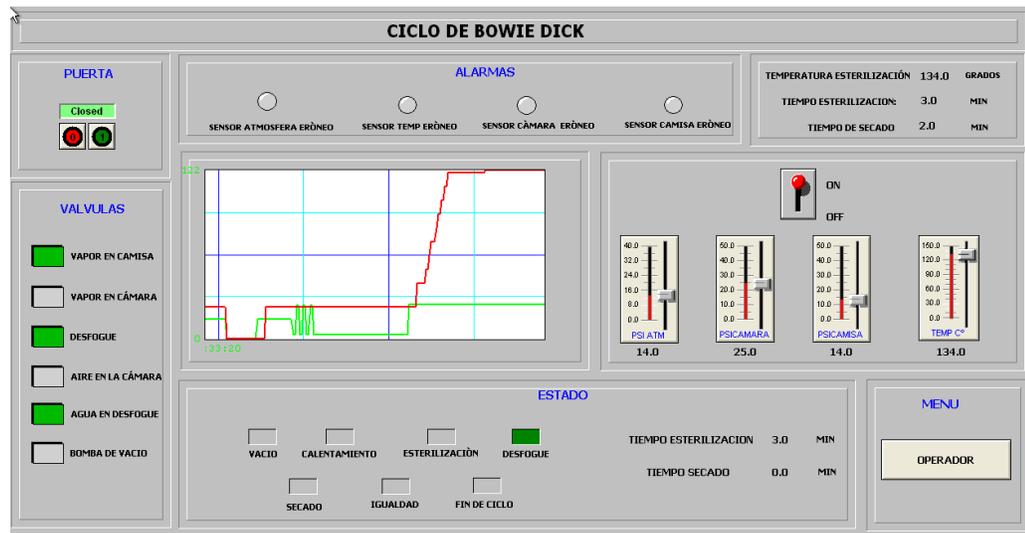


Figura 98 Etapa de desfogue

En 16,6psi se activa la bomba como se indica en la figura 99.

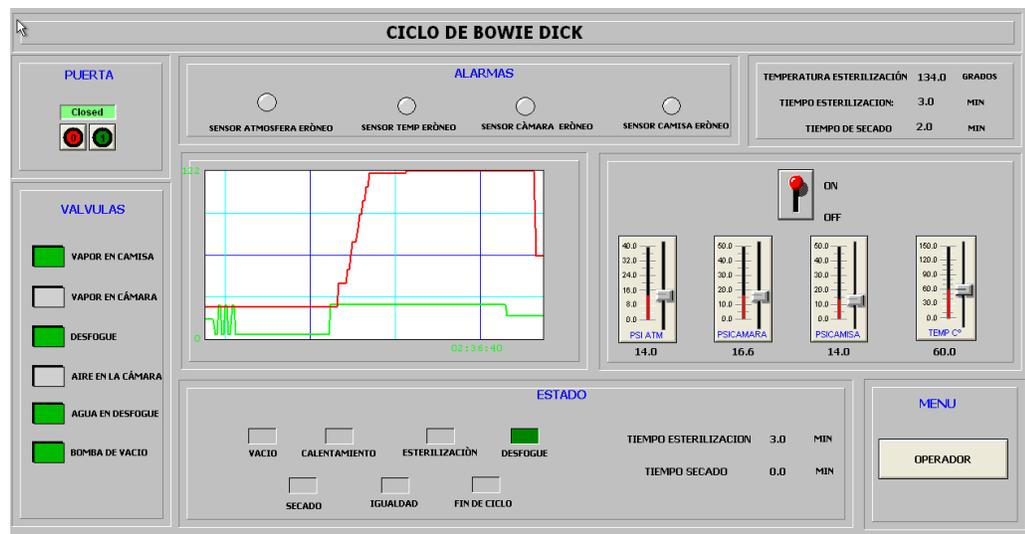


Figura 99 Activación de la bomba

Al llegar al pulso de vacío se inicia el tiempo de secado, tal como se indica en la figura 100.

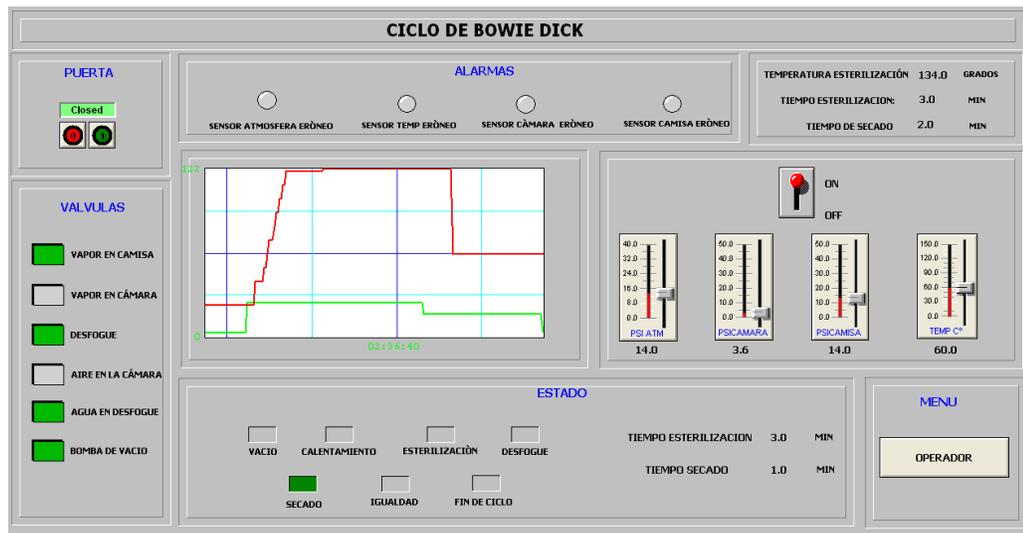


Figura 100 Etapa de secado

Terminado este tiempo se activa el ingreso de aire con el fin de equilibrar nuevamente las presiones en la cámara.

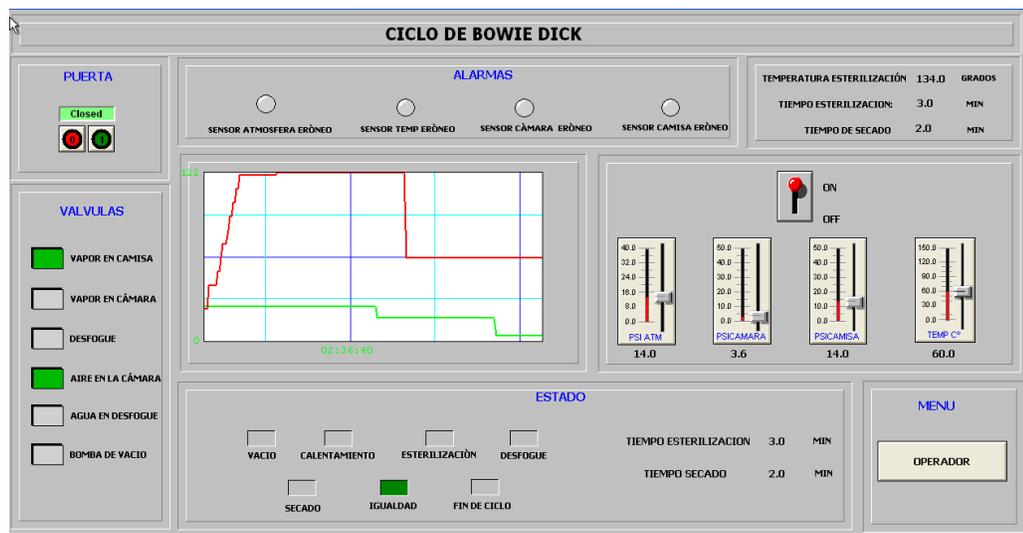


Figura 101 Etapa igualdad de presiones

Y finalmente al detectarse la presión atmosférica en la cámara, se acabara el ciclo permitiendo abrir la puerta como se indica en la figura 102.

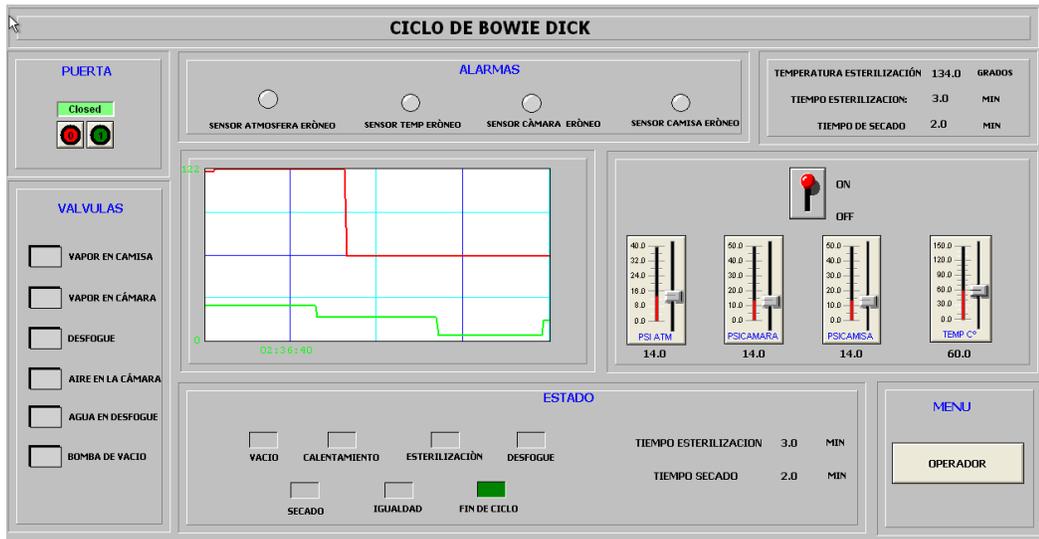


Figura 102 Etapa igualdad de presiones

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La evaluación previa del estado actual del equipo permitió analizar de manera eficaz los cambios necesarios que requiere no solo en cuanto al software, sino en cuanto a los elementos que tornan el funcionamiento más eficiente.
- Todos los elementos de control son de tipo todo o nada, lo cual sugiere un control ON OFF sobre cada válvula que interviene en el paso de vapor tanto al ingreso de vapor a la camisa como a la cámara, y de la misma manera se presenta en expulsión del vapor a través de la válvula de desfogue y bomba de agua encargada de la generación de vacío.
- El control ON OFF empleado requirió una histéresis, lo cual permite un tiempo de espera prudente a la hora de activar y desactivar las válvulas ayudando de esta manera al proceso de esterilización.
- El aportar con ciclos para rutinas de mantenimiento, reduce de manera significativa los riesgos que atentan no solo al equipo sino a los técnicos al evitar abrir el equipo para comprobar el funcionamiento de cada elemento interno.
- El tener una etapa de vacío previo a la esterilización permite eliminar hasta un 99% de microbios al inicio de cada ciclo incrementando la eficiencia y seguridad en la esterilización de los elementos deseados.

- El automatizar este tipo de equipos representa un ahorro económico bastante alto para instituciones tanto públicas como privadas ya que actualmente no existe empresas nacionales dedicadas al diseño y construcción de estos equipos que obligan a la importación de estas.
- El acceso directo de los técnicos para realizar pruebas desde el software, contribuye de manera directa al ahorro de tiempo cuando se realizan mantenimientos preventivos, ya que se pueden localizar fugas en las tuberías sin necesidad de abrir el equipo y se tiene control directo sobre los elementos de control que permite activar y desactivar directamente las válvulas y la bomba de vacío.
- Las simulaciones de las entradas de los sensores permiten conocer el comportamiento sobre los elementos de control: válvulas y bomba, logrando la anticipación al efecto que tendrá cada valor de los 3 sensores de presión y el sensor de temperatura.
- La ingeniería Básica y conceptual logró realizar un estudio profundo de las características de cada elemento que interviene en el proceso de cada ciclo, esto contribuyó al diseño de la instrumentación, consideraciones en el dimensionamiento de los elementos y respectivas protecciones.
- El sistema de alarmas no solo se usa con el fin de alertar al operador, sino que consta de un sistema que interviene directamente en las válvulas de desfogue o de alivio del equipo que evitará un posible accidente en caso de tener fallas sobre las válvulas que controlan el paso de vapor a la cámara.
- Además de las seguridades eléctricas es de suma importancia contar con elementos mecánicos de seguridad que se activarán al superar presiones altas, además de las válvulas manuales que permiten culminar el ciclo en el que se

encuentre el equipo al momento de darse un corte de energía que restrinja las acciones del PLC.

- El diseño de los diagramas eléctricos P&ID e información acerca de las características de cada elemento de control permitirán la implementación adecuada de los cambios necesarios para que la implementación del diseño realizado sea ejecutado de la manera correcta.

6.2 Recomendaciones

- El periodo de mantenimiento preventivo para este tipo de equipo médico es semestral, pero se recomienda un mantenimiento trimestral durante el primer año con el fin de monitorear el funcionamiento del sistema a implementar.
- Verificar las características de las válvulas para realizar una correcta instalación en base a la información proporcionada en la ingeniería conceptual.
- Se recomienda la ejecución de la prueba de los elementos durante cada mantenimiento preventivo, ya que no solo se comprueba los elementos eléctricos si no también los elementos de seguridad mecánicos en los que se puede tener un control directo para futuras revisiones.
- Con la ayuda de químicos se logrará limpiar la cámara de manera que al final del tratamiento, desaparezcan todas aquellas incrustaciones acumuladas durante el periodo de 10 años que se tiene en funcionamiento la autoclave, dejando el equipo en un estado adecuado para ejecutar los ciclos propuestos.
- La bomba de agua es de suma importancia ya que interviene directamente en la etapa de vacío y en la expulsión del vapor, el elemento dispone de los dos tipos

de alimentación, se recomienda mantener la configuración en 220V, ya que esta proporciona más torque.

- Se recomienda una capacitación a todos los operadores que permitan un mejor uso en el equipo ya que en la investigación obtenida del funcionamiento se encontraron muchas falencias en cuanto al manejo del equipo.

CAPÍTULO VII

7.1 BIBLIOGRAFIA

- Apollo-Valves. (s.f.). *válvulas de seguridad y alivio*. Recuperado el 17 de Febrero de 2016, de http://www.apollovalves.com/_literature/cat_SRCA90SP.pdf
- ASCO. (2016). *Hot Water and Steam Valves*. Obtenido de <http://www.asco.com/ASCO%20Asset%20Library/asco-hot-water-steam-valves-catalog.pdf>
- Celitron. (2016). *Celitron medical technologies*. Obtenido de http://celitron.com/pdf/flyers/large_steam_sterilizers_azteca_a_series_es.pdf
- Comply, 3. (2013). *1302 Bowie-Dick Einmaltestpaket*. Obtenido de http://solutions.3maustria.at/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1407228971000&locale=de_AT&assetType=MMM_Image&assetId=1361806795449&lobAttribute=ThumbnailImage
- CONSOLIDATED, M. (2006). MANUAL. En CONSOLIDATED.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial*. España: Alfaomega.
- Delta. (2016). *Manual HMC08*. Obtenido de <http://induprogres.pl/media/files/download/7017/delta-ia-hmi-hmc08-n500s52-q-tc-en-sc-tur-20140618.pdf>
- Delta. (2016). *Touch Panel HMI*. Obtenido de <http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=329&hl=en-US&Name=HMC08-N500S52>
- EMC. (25 de marzo de 2015). *Catalogo Centrifugas*. Obtenido de http://www.emcbombas.com/uploads/4/7/5/2/47528589/010_catalogo_centric%20ADfugas_web.pdf

Hard, J. (27 de abril de 2012). *Construcciones Metálicas de Obturación*. Obtenido de https://www.academia.edu/7807454/Valvulas_mariposa_ficha_tecnica

Kojan. (2000). *Manual de Calderas*. España: McGraw-Hill.

Lubosa. (s.f.). *LUBOSA*. Recuperado el 16 de Febrero de 2015, de http://www.lubosa.com.mx/productos_por_linea.php?id_linea=C03&filtro=V%C3%A1lvulas%20Check

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. madrid: Pearson Educacion .

OPS/CEPIS. (2005). *GUÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTACIONES DE BOMBEO PARA EL AGUA POTABLE*. Lima.

Orellana, J. A. (2005). *Ingeniería Sanitaria*. UTN-FRRO.

Oventrop. (2016). *Filtro de agua*. Obtenido de <https://www.oventrop.com/es-VE/productos/gruposdeproductos/articulo/6122508>

PALL. (2016). *Biopharmaceuticals*. Obtenido de <http://www.pall.com/main/biopharmaceuticals/total-contaminant-control-48001.page>

Parker. (2016). *Valvulas*. Obtenido de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiYwPnmqpTLAhVCIR4KHSdVB24QFgg5MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.parker.com%2Fliterature%2FFluid%2520Control%2520Division%2Fgeneral_purpose_solenoid_valves_cat_fcdf10911%25

proyecto, A. d. (s.f.).

Sterilizers, C. S. (1985). En Consolidated, *Operating Manual*. Boston, MA.

Tecsis. (6 de marzo de 2016). *Technologies for Sensors Indicators and Systems*. Obtenido de http://www.sensores-de-medida.es/uploads/sensor_de_presion_membrana_enrasada_de701.pdf

- TUTTNAUER. (2016). *Esterilizadores Hospitalarios*. Recuperado el 24 de Enero de 2016, de https://tuttnauer.com/sites/tuttnauer.com/files/t-max-spanish-autoclave-tuttnauer_1.pdf
- Valveco. (2016). Obtenido de http://www.valveco.com.co/p/valvula-solenoide-uni-d-uso-general_4388027/valvula-solenoide-uni-d-modelo-uw_4396852
- Viaindustrial. (2016). *UW NO SERIES*. Obtenido de http://www.viaindustrial.com/catalogos_pdf/Valvulas_solenoides_uso_general_2_vias_Normalmente_abiertas_110_VAC_UW-10-NO_UNI-D_Catalogo_Ingles.pdf
- Watts. (2016). *Water Safety & Flow Control*. Obtenido de http://www.watts.com/pages/_products_details.asp?pid=710