



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
E.A.P. DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA
OPTIMIZAR EL MANEJO DEL EQUIPO DE AUTOCLAVE DE VAPOR
EN LA CENTRAL DE ESTERILIZACIÓN DEL HOSPITAL CAYETANO
HEREDIA**

PRESENTADO POR

**CASILLA JANCCO, CLAUDIO
REYNA MACEDO, JORGE**

ASESOR

TIRADO MENDOZA, GABRIEL AUGUSTO

Los Olivos, 2016



FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**E.A.P. DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA
OPTIMIZAR EL MANEJO DEL EQUIPO DE AUTOCLAVE DE
VAPOR EN LA CENTRAL DE ESTERILIZACION DEL
HOSPITAL NACIONAL CAYETANO HEREDIA**

PRESENTADO POR:

**CASILLA JANCCO, CLAUDIO
REYNA MACEDO, JORGE WILLIAM**

LIMA - PERÚ

2016

SUSTENTADO Y APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO

Llulluy Núñez, David

PRESIDENTE

Hinojosa Sánchez, Raúl Sixto

SECRETARIO

Vílchez Sandoval, Jesús Alberto

VOCAL

Tirado Mendoza, Gabriel Augusto

ASESOR

DEDICATORIA

*A mis padres y a mis seres más amados por
Ser los pilares fundamentales en todo lo
Que soy en toda mi vida educativa
Como la Academia, como la vida por su
Incondicional apoyo perfectamente
Mantenido a través del tiempo todo este
Trabajo ha sido Posible gracias a ellos.
Reyna Macedo, Jorge*

*A toda mi familia que me apoyó en todo
momento sobre todo mi compañera y asesora
personal, mis hijos, mis padres que siempre
están conmigo en las buenas y en las malas,
levantándome la moral cada vez que he querido
flaquear en el camino, todos ellos son la razón
de mi vida, y han hecho posible mis logros de
hoy.*

Casilla Jancoco, Claudio

ÍNDICE

DEDICATORIA

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

GLOSARIO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES

1.1	Definición del problema	16
1.1.1	Problema general	17
1.1.2	Problema específicos	17
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo general	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	Justificación de la Investigación	18
1.4	Alcance y limitaciones de la investigación	18
1.4.1	Alcances	18
1.4.2	Limitaciones	19

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1	Antecedentes	20
2.1.1.	Internacional	20
2.1.2.	Nacional	20
2.2	Marco Teórico	22
2.2.1	Proceso de esterilización	22
2.2.2	Sistema de control automático	39
2.2.3	Controladores lógico programables	57

2.3	Marco conceptual	63
2.4	Marco metodológico	66
2.5	Marco legal	67
2.5.1	ISO 9001 de 2008	67
2.5.2	ISO 1345	67
2.5.3	EN 285	68
2.5.4	Manual de esterilización y desinfección MINSA	68

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

3.1	Modelamiento	69
3.2	Diagrama bloque	73
3.3	Obtención del modelo	74
3.4	Desarrollo	77
3.4.1	Asignación de funciones	77
3.4.2	Equipos instrumentos y sensores	78
3.4.3	Especificaciones técnicas	82
3.4.4	Elección de ciclo en función del material	94
3.4.5	Diagrama de sistema electromecánico de autoclave	95
3.5	Aplicación	95
3.5.1	Programación del PLC	95
3.5.2	Selección de HMI	98
3.5.3	Pasos para la configuración de la pantalla de HMI	101
3.6	Monitoreo	101
3.6.1	Validación de los procesos de esterilización	102
3.6.2	Validación de las cargas	103
3.6.3	Código (clave) del operador	104
3.6.4	Alarmas	104
3.7	Resultados	104
3.8.1	Prueba de funcionamiento del equipo (Bowie Dick)	104
3.8.2	Proceso de esterilización completo	107

3.8	Mantenimiento	110
3.9	Observaciones y discusiones	111
CAPÍTULO IV: ANALISIS DE COSTOS Y BENEFICIO		
4.1	Análisis de costos	113
4.2	Análisis de costo de pérdidas	116
4.3	Análisis comparativo de equipos con sistema propuesto	117
4.4	Análisis de sensibilidad	118
CONCLUSIONES		119
RECOMENDACIONES		121
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		122
ANEXOS		124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación tiempo – temperatura para la esterilización por calor seco	28
Tabla 2: Comparación de tipos de esterilizadores	30
Tabla 3: Parámetros del proceso de esterilización a baja temperatura	31
Tabla 4: Parámetros de ajuste (método de oscilación)	54
Tabla 5: Parámetros de ajuste (método curva de reacción)	56
Tabla 6: Especificaciones técnicas de la bomba de vacío	86
Tabla 7: Especificaciones técnicas de electroválvula	88
Tabla 8: Especificaciones técnicas del contactor	90
Tabla 9: Especificaciones técnicas del controlador programable	91
Tabla 10: Especificaciones técnicas del display HMI	92
Tabla 11: Asignación de entradas y salidas	93
Tabla 12: Tiempo de esterilización del material	94
Tabla 13: Resultados de la prueba de Bowie Dick	105
Tabla 14: Resultados del proceso de esterilización completo	107
Tabla 15: Cronograma de mantenimiento	111
Tabla 16: Tiempo estimado de uso para mantenimiento de componentes de autoclave	112
Tabla 17: Costos de recursos materiales directos	114
Tabla 18: Costos de recursos materiales indirectos	116
Tabla 19: Costos del proyecto	117
Tabla 20: Pérdida de producción por maquinaria inoperativa (a)	117
Tabla 21: Pérdida de producción por maquinaria inoperativa (b)	121
Tabla 22: Análisis comparativo entre marcas de equipos de autoclave de la misma capacidad	121
Tabla 23: Análisis de sensibilidad	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de susceptibilidad de los microorganismos	25
Figura 2: Validación del Test de Bowie Dick	36
Figura 3: Validación con indicadores biológicos	37
Figura 4: Sistema de control automático	40
Figura 5: Circuito de control	41
Figura 6: Diagrama de bloques de un controlador PID	42
Figura 7: Tiempo de respuesta de la temperatura en un calefactor	43
Figura 8: Respuesta de un controlador ON /OFF	44
Figura 9: Sistema de controlador PID	45
Figura 10: Diagrama de bloque de un controlador PID	47
Figura 11: Diagrama esquemático de la función de un controlador PID sobre un proceso de control de temperatura	48
Figura 12: Relación de la banda proporcional y el valor de consigna	48
Figura 13: Relación entre la salida de control y banda proporcional	49
Figura 14: Acción integral para eliminar el error en régimen permanente	50
Figura 15: Respuesta de un control proporcional integral a lazo abierto ante un escalón	50
Figura 16: Acción derivativa sobre la respuesta de un sistema	52
Figura 17: Respuesta proporcional derivativa a lazo abierto	53
Figura 18: Lazo cerrado solo con ganancia proporcional	54
Figura 19: Respuesta al escalón de la planta	56
Figura 20: Distribución de la programación	59
Figura 21: Función LADDER $M=A(B'+C)D'$	60
Figura 22: Circuitos LADDER sin auto eliminación función $M=A(B'+C)D'$	61

Figura 23: Circuitos LADDER con auto eliminación función $M=A(B'+C)D'$	61
Figura 24: Sistema de marcha y paro con bobinas –set y –reset función $M=A(B'+C)D'$	62
Figura 25: Automatismo temperatura de función $M=A(B'+C)D'$	62
Figura 26: Aplicación de temporizador en LADDER función $M=A(B'+C)D'$	63
Figura 27: Etapas de control de proceso de esterilización (Temperatura Vs presión y temperatura)	72
Figura 28: Sistema de control de la autoclave	73
Figura 29: Sistema de control de lazo cerrado de la autoclave	73
Figura 30: Diagrama de flujo del proceso de esterilización	74
Figura 31: Respuesta del sistema controlado	77
Figura 32: Imágenes de sensor de presión	84
Figura 33: Conexión delta de relés de estado sólido	85
Figura 34: Diagrama de la bomba de vacío	86
Figura 35: Diagrama eléctrico de la bomba de vacío	87
Figura 36: Diagrama interno de la electroválvula	89
Figura 37: Diagrama del contactor	89
Figura 38: PLC Omron	91
Figura 39: Display HMI pantalla táctil	92
Figura 40: Diagrama esquemático del control lógico programable (PLC)	94
Figura 41: Sistema electromecánico de la autoclave	95
Figura 42: Ventana de programación de PLC (a)	96
Figura 43: Área de configuración del PLC (a)	97
Figura 44: Área de configuración del PLC (b)	97
Figura 45: Configuración del PID	98

Figura 46: Zona de programación del PLC	99
Figura 47: Área de configuración del PID	99
Figura 48: Diagrama de conectores	100
Figura 49: Relación de la temperatura con respecto al tiempo en el test de Bowie Dick en la central de esterilización del H.N.C.H. San Martín de Porres, 2014	106
Figura 50: Relación de la presión con respecto al tiempo en el test de Bowie Dick en la central de esterilización del H.N.C.H. San Martín de Porres, 2014	106
Figura 51: Validación del proceso con el test de Bowie Dick	107
Figura 52: Relación de la temperatura con respecto al tiempo en el proceso automático de la autoclave en la central de esterilización del H.N.C.H. San Martín de Porres, 2014	108
Figura 53: Relación de la presión con respecto al tiempo en el proceso automático de la autoclave en la central de esterilización del H.N.C.H. San Martín de Porres, 2014	109
Figura 54: Correlaciones entre variables tiempo, presión y temperatura en un proceso de automático de la autoclave en la central de esterilización del H.N.C.H. San Martín de Porres, 2014	109
Figura 55: Validación de proceso de esterilización por medio de controlador biológico y químico	110

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Matriz de consistência	125
Anexo 2: Diagrama de flujo del proceso de esterilización	126
Anexo 3: Diagrama de flujo del control de tiempo	127
Anexo 4: Diagrama de flujo de presión	128
Anexo 5: Programa del sistema de control de la autoclave - PLC	129
Anexo 6: Resultados de tiempo, temperatura y presión en el proceso de esterilización	133

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ACCIONADORES:** parte del sistema de accionamiento de un sistema al que se aplica una fuerza de accionamiento externa.
- **ACCIONADORES ELÉCTRICOS:** dispositivo que produce movimiento cuando es excitado por una señal eléctrica.
- **CAPTADORES:** Son los sensores y transmisores, encargados de captar las señales necesarias para conocer el estados del proceso, y luego enviarlas a la unidad de control.
- **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA:** procedimiento que se debe seguir en la operación.
- **DIAGRAMA DE FLUJO:** Un diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos en un proceso.
- **DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA:** Aquí se agrupan todos los dispositivos que intervienen en el proceso.
- **ELEMENTOS DE MANDO:** Son los elementos de cálculo y control que gobiernan el proceso, se denominan autómatas, y conforman la unidad de control. Los sistemas automatizados se conforman de dos partes: parte de mando y parte operativa.
- **FEEDBACK (retroalimentación):** es un mecanismo de control de los sistemas dinámicos por el cual una cierta proporción de la señal de salida se redirige a la entrada, y así regula su comportamiento.
- **INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA:** Permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, pulsadores, teclados, visualizadores, etc.
- **MÁQUINAS:** Son los equipos mecánicos que realizan los procesos, traslados, transformaciones, etc. de los productos o materia prima.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo diseñar un sistema de control automático para optimizar el manejo del equipo de autoclave de vapor de la central de esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia. Es de enfoque cuantitativo y de diseño pre experimental. En su implementación se realizó la prueba de BOWIE-DICK para certificar la operatividad del equipo. Posterior a ello, se realizaron 2 pruebas para esterilizar material textil y se verificó la optimización a través de los datos de presión, temperatura y tiempo. Los controles fueron 2 por minuto en un tiempo promedio de 50 minutos. Entre sus principales resultados se identificó 107,161°C para temperatura, 26,77 PSI de presión de vapor y 23 min. De tiempo promedio. La temperatura máxima que se alcanzó fue de 135°C en un periodo de 13 minutos en la etapa de esterilización. Se puede afirmar que existe correlación entre la temperatura y la presión pues en la correlación de Pearson se obtiene $p \leq 0.05$. A los 134 °C, la presión que se obtuvo fue de 37.7 PSI de presión de vapor. El proceso de esterilización se validó con los controladores biológico y químico, porque dieron negativo para carga microbiana. Se puede concluir que existe relación entre la temperatura y la presión de vapor, así mismo que la automatización de la autoclave resultó ser un aporte ya que solo el operador se encarga de cargar y descargar el material al inicio y al final del proceso, empleando su tiempo en otras funciones.

Palabras claves: Diseño, sistema, control automático, optimización autoclave de vapor, esterilización.

ABSTRACT

The study aimed to design an automatic control system to optimize the team driving of autoclave of steam unit sterilization in the National Hospital Cayetano Heredia. It is of focus quantitative and of design pre - experimental. In its implementation the BOWIE-DICK test is performed to certify the operation of the equipment. Following this, two tests were conducted to sterilize the fabric and is verified the optimization through pressure data, temperature and time. Controls were 2 per minute on an average of 50 minutes. Among its key findings were identified 107.161 ° C for temperature, 26.77 PSI steam pressure and 23 min. average time. The maximum temperature reached was 135 ° CC over a period of 13 minutes in the sterilization step. We can say that there is a correlation between temperature and pressure as the Pearson correlation is obtained $p \leq 0.05$. At 134 ° C, the pressure that was obtained was 37.7 PSI steam pressure. The sterilization process was validated with the biological and chemical drivers because they were negative for microbial load. It can be concluded that there is a relationship between temperature and vapor pressure, likewise that automation of the autoclave proved to be a contribution, because only the operator is responsible for loading and unloading the material the beginning and end of the process, using their time in other functions.

Keywords: Design system, automatic control, optimization autoclave steam sterilization.

INTRODUCCIÓN

La ciencia y la tecnología han dado un gran impulso al sector salud, mejorando en gran medida la calidad de los instrumentos y equipos biomédicos existentes. Sin embargo, por mucho que evolucione la instrumentación médica, nunca podrá prescindir del proceso de esterilización; todo accesorio, herramienta o dispositivo, debe quedar libre de microorganismos vivos antes de su reutilización.

Uno de los procesos más usados y de mayor eficacia para eliminar agentes patógenos es la esterilización por autoclave, un proceso que viene reinventándose por más de 100 años. En todo ese tiempo se pulieron aspectos teóricos y empíricos que permitieron la fabricación de grandes equipos electromecánicos destinados a este fin, pero que en muchos casos no brindan un control adecuado de parámetros como presión, temperatura y tiempo; parámetros importantes, que en la medida correcta aseguran el éxito del proceso de esterilización.

En tal sentido, se busca diseñar un sistema de control automatizado para optimizar el manejo del equipo de autoclave a vapor, alcanzando valores óptimos, y cuya implementación reemplace al actual tablero de control. Se utilizó para esto una serie de sensores e instrumentación de monitoreo que mostraron resultados muy satisfactorios.

Se logró sensar temperatura y presión, representadas mediante gráficas por una pantalla touch screen, quedando registrados estos datos en un data logger, del cual se puede extraer información para imprimir o exportar a dispositivos de almacenamiento.

Concluimos que el resultado de la presente investigación es un aporte al conocimiento de la ingeniería electrónica, tanto en el aspecto económico como en el tecnológico, beneficiando a miles de usuarios del servicio público.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Definición del Problema.

Los hospitales brindan servicios de salud con estándares de calidad, estos servicios no consisten solamente en eliminar agentes patógenos provenientes del exterior, sino también, evitar su propagación dentro del centro de salud.

“La esterilización y desinfección de los instrumentos hospitalarios son procesos de apoyo vital, se aceptan de forma universal como un paso esencial en el control de infecciones. Su importancia radica en que se relaciona tanto con los valores éticos, como es el proteger a los usuarios de infecciones oportunistas, como con los económicos, ya que minimiza los costos de la no calidad” (Borja, Burga, & Chang, 2002).

“La eficacia del proceso de esterilización es determinante para eliminar los riesgos que llegan a través de la utilización de los instrumentos médicos en el cuerpo humano, se requiere de métodos de testificación de la calidad de dicha esterilización, esto quiere decir que la presión y temperatura aplicadas sean distintas para cada uno de los productos” (Wikipedia, 2016).

El control automático evolucionado hasta nuestros días, ahora es posible encontrar autoclaves con tecnología de punta, pero no en entidades del estado.

El cambio tecnológico y las regulaciones nacionales e internacionales exigen que las autoclaves cumplan con una serie de estándares que no son capaces de cumplir la mayoría de autoclaves en posesión del estado.

1.1.1 Problema general

¿Cómo asegurar que el equipo de autoclave de vapor controla adecuadamente sus variables de tiempo, temperatura y presión en la central de esterilización del hospital Nacional Cayetano Heredia?

1.1.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo se realizará el diseño del sistema de control automático en la autoclave de vapor en central de esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia?

- ¿Cómo se verificará que el diseño del equipo de autoclave de vapor controla adecuadamente las variables de tiempo, temperatura y presión de la central de esterilización del hospital Nacional Cayetano Heredia?

- ¿Cómo se validará que los materiales se hayan esterilizado acorde a los estándares nacionales e internacionales?

1.2 Definición de los objetivos (Anexo 1)

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control automático para optimizar el manejo del equipo de autoclave de vapor de la central de esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir, estructurar y desglosar las etapas que conlleva la realización del control automático para el manejo de la autoclave a vapor del Hospital Nacional Cayetano Heredia.
- Controlar la temperatura a 134 C°, presión 32 PSI en relación al tiempo en forma automática, comandada por medio de un controlador lógico programable.

- Validar que los materiales se hayan esterilizado acorde a los estándares nacionales e internacionales

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Tecnológico

La automatización del proceso de esterilización en un centro hospitalario, sirve para controlar con precisión los parámetros físicos de esterilización en tiempo real. Sin embargo en la actualidad los equipos de esta institución trabajan de forma manual, lo que lleva a la necesidad de implementar el diseño de un sistema de control automático, usando para este fin un controlador lógico programable (PLC), que permita simplificar el proceso operativo.

Es importante señalar que estos sistemas requieren de diseños, programación y configuración de acuerdo a las necesidades específicas de una central de esterilización de un hospital nacional.

1.3.2 Humanístico

Con el proyecto los beneficiados son los pacientes y en general todo el personal que labora en el hospital. La correcta esterilización de los instrumentos evita contagios paciente-personal y paciente-paciente, mejorando las condiciones de salubridad en general.

1.4 Alcance y limitaciones de la investigación

1.4.1 Alcance

A. Hospital

El sistema de automatización para autoclave permite mantener y mejorar los estándares de calidad del proceso de esterilización, garantiza el abastecimiento de instrumentos estériles a todo el recinto hospitalario

(Sala de Operaciones, Sala de Partos, UCI, Consultorios Externos, entre otros).

B. A nivel Nacional

En la actualidad los hospitales de la red del Ministerio de Salud cuentan con equipos de tecnología básica, que son operados manualmente y tienen muchos años de antigüedad. A pesar de las malas condiciones, dichos equipos podrían ser revalorados económica y operativamente si se implementara el sistema de control automatizado.

Sería una alternativa costo efectiva para los nosocomios de provincias y departamentos del interior del país, pudiendo disminuir así las brechas de inequidad en servicios de salud.

1.4.2 Limitaciones

- El alto costo para adquirir libros originales, pagos a cuentas bancarias para descargar libros en línea.
- Obtener los Software originales para poder realizar nuestras pruebas.
- El alto costo para implementar el proyecto.
- Trámites administrativos (autorizaciones del comité de ética e investigación), para el acceso a la central de esterilización del Hospital Nacional Cayetano Heredia.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacional

En la tesis de grado “Automatización de Esterilizadores para Productos Alimenticios Enlatados”, para optar al Título de Ingeniero Electricista, Escuela de Ciencias e Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.

“Las etapas dentro del diseño del control automático, se pudieron aplicar y poner en funcionamiento de manera exitosa, por lo que la estructuración del sistema y del Proceso permitió una buena y eficiente ejecución de la fase de implementación, solo generándose ciertos problemas e inconvenientes propios de un proyecto de tal envergadura” (Rigel N, 2008).

Según al autor indica que el diseño de un sistema de control automático es muy satisfactorio en los equipos de esterilizadores y en nuestra investigación estamos considerando estos aspectos para lograr un eficiente proceso de esterilización.

En su conclusión nos dice: “Que el desarrollo, diseño e implementación de un sistema de control automático de máquinas esterilizadoras para productos alimenticios enlatados fue satisfactorio, en otras palabras, las cuatro máquinas se encuentran realizando procesos completos de esterilización de forma automática e independiente” (Rigel N, 2008).

2.1.2 Nacional

En la tesis de grado “Automatización del sistema de control y monitoreo de una autoclave para el proceso de vulcanización del caucho en calzado de lona, de la Pontificia Universidad Católica Del Perú” de Sánchez J,2008, en su conclusión nos dice: Que Al incluir “una interfaz hombre máquina (HMI) se logró mejorar el control y el Monitoreo de la autoclave dando a conocer

el estado interno del sistema, entradas y salidas así como la evolución de las señales controladas (temperatura, presión y tiempo).

“Gracias a esta interfaz es posible detectar fallas y por lo tanto mejorar el sistema” Sánchez, J. E. R. (2008). Es posible ampliar la automatización si es que se añaden sistemas SCADA.

Aplicar la herramienta *GRAF CET* ayudó a facilitar el entendimiento del sistema y el desarrollo de una programación estructurada (división del programa por módulos) con la cual es posible realizar pruebas del programa de manera más sencilla, además que facilita a efectuar modificaciones cuando se requieran y es de fácil entendimiento para el técnico encargado del mantenimiento de la máquina.

Elaborar un programa abierto, en el cual el trabajador puede fijar tanto los valores de temperatura, presión y tiempo en los cuales debe de trabajar la máquina, es posible emplear esta automatización en otros sistemas que busquen controlar los mismos parámetros como es el caso de una prensa de suelas o autoclaves que trabajen con cargas que no sean zapatillas, teniendo en consideración que los instrumentos de campo no sería el mismo para todos los casos”.

Por lo tanto según el autor indica que utilizando la interfaz hombre maquina se facilita el control y monitoreo y gracias a esta interfaz es posible detectar fallas y por lo tanto mejorar el sistema.

“Aplicando la herramienta *GRAF CET* ayudó a facilitar el entendimiento y el desarrollo de una programación estructurada con esta herramienta se realiza pruebas de programas de manera más sencillas y en nuestra investigación estamos considerando estos aspectos importantes para poder

elegir adecuadamente cual nos favorece en nuestro diseño de control automático” (Sánchez, 2008).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Proceso de esterilización

La esterilización es el conjunto de operaciones destinadas a eliminar o matar todas las formas de seres vivientes, contenidos en un objeto o sustancia. “Todo artículo crítico debe ser sometido a algún método de esterilización de acuerdo a su compatibilidad. Todo material resistente al calor, compatible con humedad debe ser auto clavado. Este es el principal método en una Central de Esterilización”(Acosta S. & Andrade V., 2008).

“Todo material resistente al calor e incompatible con la humedad debe ser esterilizado por calor seco. La esterilización con métodos químicos gaseosos, deberán realizarse en cámaras con ciclos automatizados que brinden seguridad al usuario y garantía de los procesos” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

“La esterilización con métodos químicos líquidos por inmersión, hecha en forma manual, será siempre el último método de elección. Estos procesos son difíciles de controlar, con grandes posibilidades de contaminación durante el enjuague o el secado, y no permiten el almacenado” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

No se puede garantizar la esterilidad en un instrumento médico, si éste no ingresó limpio al proceso de esterilización. Nuestro objetivo es “obtener insumos estériles para ser usados con seguridad en el paciente” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

2.2.1.1 Carácter de lo que es estéril

El estado estéril o no estéril de un objeto no puede ser puesto en evidencia por las técnicas analíticas convencionales.

“Esta condición puede estimarse calculando el número de microorganismos residuales existentes en un artículo sometido a un determinado método de esterilización “(Acosta S. & Andrade V., 2008).

El número residual depende de:

- a. Contaminación inicial (C_0): (Concentración, volumen o masa) de los artículos a esterilizar.
- b. Volumen (V) o Superficie (S) de los artículos a esterilizar
- c. Eficacia (E) de la esterilización expresada en número de reducciones decimales. Por ejemplo, si la esterilización ha permitido reducir la población inicial de 10^n microorganismos a una población de 10^m , la eficacia es:

$$E = n - m$$

Después de la esterilización, el **número medio (R)** de microorganismos por objeto es igual a:

$$R = C_0 \times V \text{ (o } S) \times 10^{-E}$$

Donde **R** representa también la probabilidad para un artículo de ser no estéril, Es pues el riesgo de no-esterilidad del artículo.

R : Debe ser también lo más pequeño posible

R : Nunca es nulo

La farmacopea Europea y Americana han fijado en 10^{-6} el límite máximo de Riesgo R de la no-esterilidad.

2.2.1.2 Factores que afectan la eficacia de los procesos de esterilización

La esterilización depende del: Número de microorganismos, materia orgánica, tiempo, temperatura, humedad relativa, estandarización de la carga.

- **“Número de microorganismos (C_0):** Este es un factor fundamental, es uno de los dos factores que miden la efectividad de los diferentes

procesos de esterilización. El valor R o D se refiere al tiempo necesario para que el método de esterilización logre la eliminación del 90% de microorganismos. Se utiliza en función de la evaluación de diferentes métodos “ (Acosta S. & Andrade V., 2008).

- **“Materia orgánica (S):** La presencia de materia orgánica dificulta la eliminación de los microorganismos pero es uno de los factores fácilmente modificables. Estos dos factores Co y S justifican la importancia de la limpieza antes de la esterilización, para garantizar siempre una disminución de riesgos que afecten dicho proceso” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

- **“Tiempo:** Es otro de los factores por medio del cual se evalúa la función de los métodos de esterilización. El valor **F** es el tiempo necesario para que una suspensión a temperatura de 121°C elimine todas las esporas bacterianas. También es utilizado como valor de referencia en la evaluación de los métodos de esterilización” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

- **“Temperatura:** Al aumentar la temperatura durante un proceso específico de esterilización, su efectividad aumenta pues cuando ésta es superior a la temperatura óptima de crecimiento de un microorganismo generalmente provoca la muerte del mismo” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

- **“Humedad relativa (HR):** Se define como la fracción de presión de vapor de agua en un sistema con respecto a otro sistema con la máxima presión (saturado 100%) y a la misma temperatura. A mayor humedad relativa, mayor contenido de agua en las células o esporas y mejor resultado final de esterilización. Es decir, más rápido” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

- **“Estandarización de la carga:** Los paquetes deben tener las medidas (28 x 28 x 47 cm.) y los envoltorios normados internacionalmente. La carga a esterilizarse es muy variable. Puede cambiar con respecto al número de instrumentos, volumen de carga, tamaño de los instrumentos y contenido de los paquetes. Es importante estandarizar los procesos de esterilización según los diferentes artículos de la carga ya que la efectividad del método puede variar en función de los artículos “(Acosta S. & Andrade V., 2008).
- **“Resistencia de los microorganismos:** La susceptibilidad de los distintos microorganismos a los procesos de inactivación está en función de los factores ya mencionados. En la figura N° 1 se observa los microorganismos que tienen una resistencia intrínseca o innata frente a los procesos de esterilización, cuya naturaleza reside, mayormente, en la composición de la pared celular que regula la penetrabilidad de los agentes desinfectantes y esterilizantes” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

Figura N°1
Esquema de susceptibilidad de los microorganismos

<ol style="list-style-type: none"> 1. Priones 2. Esporas bacterianas 3. Resistencia 4. Micobacterias (<i>M. tuberculosis</i>, <i>M. avium</i>, <i>M. chelonae</i>) 5. Protozoos (Quistes: <i>Gardia</i>, <i>Cryptosporidium</i>) 6. Virus pequeños sin envoltura (<i>Picornavirus</i>, <i>Poliovirus</i>, <i>Parvovirus</i>, y algunos <i>Rotavirus</i>, Hepatitis, A y E, <i>Norovirus</i>) 7. Virus grandes sin envoltura (<i>Adenovirus</i>) 8. Esporas fúngicas (<i>Aspergillus</i>, <i>Absidia</i>) 9. Formas vegetativas bacterias y fúngicas 10. Virus grandes con envoltura lipídica (VIH, VHC, VHB, Herpes, Varicela, Rubéola) 	
---	---

Fuente: Silvia I. Acosta - Gness Valeska de Andrade Stempliuk 2008, n.d.). *Manual de Esterilización para Centros de la Salud* (p. 89)

2.2.1.3 Métodos de esterilización

A. “Métodos químicos

Estos métodos se utilizan solamente en los casos en que los materiales no soporten el calor y su naturaleza lo permita.

La esterilización por agentes químicos por inmersión hecha de forma manual será siempre el último método de elección. Estos procesos son difíciles de controlar, con una gran probabilidad de re-contaminación durante el enjuague o el secado, y no permiten el almacenado posterior “ (Acosta S. & Andrade V., 2008).

Este método utiliza los siguientes elementos como desinfectantes:

- Glutaraldehido
- Peróxido de hidrógeno
- Formaldehido
- Ácido paracético

B. Métodos físicos

“Los métodos físicos son aquellos que no involucran el empleo de sustancias letales para los microorganismos, sino procedimientos físicos como la radiación ionizante, el calor o la filtración de soluciones con membranas que impiden el paso de microorganismos, incluyendo virus.

“El método más usado en esta categoría es el **calor seco**”, (Acosta S. & Andrade V., 2008).

“El calor seco penetra lentamente en los materiales por lo que se requieren largos períodos de exposición. El aire caliente no es corrosivo pero el proceso es lento. Se usa generalmente a 170°C durante 60 minutos o a 150°C por 150 minutos.

“Este sistema elimina microorganismos por coagulación de las proteínas de los microorganismos” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

Su efectividad depende de: La difusión del calor, la cantidad de calor disponible y los niveles de pérdida de calor.

▪ **Condiciones del proceso:**

- “Los manuales de procedimiento de la institución establecerán las condiciones de trabajo según la carga, volumen, peso, resistencia térmica del material. Es imprescindible respetar los parámetros obtenidos en la validación del procedimiento.
- Temperatura: la temperatura de esterilización por calor seco debe permanecer entre 160°C - 170°C.
- Tiempos: el tiempo total de exposición del material se determina mediante la correspondiente validación del ciclo. “Es importante señalar que el tiempo de exposición debe ser contabilizado luego de alcanzada la temperatura requerida y no desde la carga del esterilizador pues puede requerirse de un tiempo prolongado para alcanzar la temperatura de esterilización”. Acorde a los detalles de la tabla 1” (Acosta S. & Andrade V., 2008).

▪ **Ventajas y desventajas del método:**

- **Ventajas:** Permite esterilizar vaselinas, grasas y polvos resistentes al calor, que no pueden ser procesados por calor húmedo.
- **Desventajas:** Requiere largos períodos de exposición es un proceso dificultoso de certificar o validar, acelera el proceso de destrucción del instrumental.

Tabla N°1
Relación de tiempo - temperatura para la esterilización por calor seco

Temperatura (° C)	Tiempo de exposición
180° C	30 minutos
170° C	1 hora
160° C	2 horas
150° C	2 horas y 30 minutos
140° C	3 horas
121° C	12 horas

Fuente: Silvia I. Acosta - Gnass Valeska de Andrade Stempliuk 2008, n.d., . Manual de Esterilización para Centros de la Salud (p. 90)

Calor húmedo o esterilización a vapor es el procedimiento de esterilización más común (excepto para los materiales que no pueden resistir el calor y la humedad) y el equipo que se utiliza en el proceso se le denomina autoclave. “El mecanismo de acción del calor húmedo es por desnaturalización de las proteínas” (Acosta S. & Andrade V., 2008).. Este método se debe considerar de elección cada vez que los materiales lo permitan. Tiene la ventaja de producir una elevación de la temperatura en forma rápida en cortos tiempos de esterilización y de no dejar residuos tóxicos en el material.

La eficiencia del vapor como agente esterilizante depende de: La humedad, el calor, la penetración y la mezcla de vapor y aire puro (y de otras impurezas que pudiera contener).

▪ **Tipos de esterilizadores a vapor**

- **Autoclaves de desplazamiento de gravedad o gravitacional**

En estos equipos el aire es removido por gravedad, ya que el aire frío es más denso y tiende a salir por un conducto colocado en la parte inferior de la cámara cuando el vapor es admitido. Este proceso es muy lento y favorece la permanencia residual del aire.

- **Esterilizadores de pre-vacío**

“Estos equipos tienen una bomba de vacío o sistema de Venturi, para retirar el aire de la cámara rápidamente en forma de pulsos, de modo que el vapor ingrese a la cámara a mayor velocidad, mejorando la eficiencia del autoclave al eliminar las bolsas de aire e incrementar la velocidad del proceso, incluso cuando operan a la misma temperatura que los esterilizadores de desplazamiento de gravedad (121°C o 132° C).

Constituye el sistema mucho más eficiente que otros. La ventaja de este sistema radica en que la penetración del vapor es prácticamente instantánea aún en materiales porosos. Además con este método, los períodos de esterilización son menores debido a la rápida remoción del aire tanto de la cámara como de la carga y la mayor temperatura a la que es posible exponer los materiales.

Las autoclaves con bomba de vacío funcionan a temperaturas de 121°C a 132°C en períodos de 4 a 18 minutos “(Acosta S., & Andrade V. 2008).

Tabla N°2
Comparación de Tipos de esterilizadores

Tipo de esterilizador	Disposición de la carga	Tiempo de exposición
Gravitacional	1. Sólo artículos metálicos, no porosos (sin lúmenes).	3 minutos
	2. Artículos metálicos, con lúmenes y artículos porosos, esterilizados juntos.	10 minutos
Con vacío previo	1. Sólo artículos metálicos, no porosos (sin lúmenes).	3 minutos
	2. Artículos metálicos, con lúmenes y artículos porosos, esterilizados juntos.	4 minutos

Fuente: Silvia I. Acosta - Gnass Valeska de Andrade Stempliuk 2008, n.d., *Manual de Esterilización para Centros de la Salud* (p. 90)

C. “Método gaseoso

Los métodos térmicos suelen englobar todos los procedimientos que tienen entre sus fines la destrucción de los microorganismos por el calor. Los métodos son tanto la pasteurización como la esterilización, cuya finalidad principal es la destrucción microbiana, como al escaldado y la cocción, procesos en los que también se consigue una cierta reducción de la flora microbiana” (**Acosta S., & Andrade V. 2008**).

“El gas de formaldehído (metanol o aldehído fórmico) es una alternativa a la esterilización por ETO (Óxido de etileno) para la esterilización de equipos y materiales que no resisten altas temperaturas”. Ver tabla N°3 (**Acosta S., & Andrade V. 2008**).

▪ Agente esterilizante:

- Formaldehído al 2% con vapor de agua a baja temperatura.
- El gas de formaldehído (FO), es un gas incoloro, con olor picante, altamente soluble en agua, que reacciona con ella para producir formalina. La formalina se utiliza en concentración variable. Comúnmente la preparación de formaldehído está al 40% y se prepara con ella una dilución de 1:10 ó 1:20 como perseverante o esterilizante.

▪ Mecanismo de acción:

Su mecanismo de acción es semejante al ETO, por alquilación de átomos de hidrógeno de grupos funcionales de proteínas estructurales, enzimas y bases nitrogenadas de ácidos nucleicos en sinergismo con la acción letal del vapor de agua a baja temperatura.

▪ **Condiciones del proceso:**

- “La esterilización se produce por la acción del FO en presencia de vapor saturado.
- Esto se obtiene haciendo pasar una solución de formalina a través de un vaporizador y tiene cuatro etapas: Eliminación de aire, inyección de FO, etapa húmeda y lavado de la cámara.
- El gas es removido de la cámara a través de repetidos pulsos de vacío así como de vapor de agua para realizar luego una fase de secado y una fase de aireación” (**Acosta S., & Andrade V. 2008**).

Tabla N°3
Parámetros del proceso de esterilización a baja temperatura

Concentración	2%
Temperatura	50°C-65°C
Humedad relativa	100%
Tiempo de exposición	2 horas - 6 horas
Presión	Subatmosférica durante todo el ciclo

Fuente:(Silvia I. Acosta - Gnass Valeska de Andrade Stempluk 2008, n.d.). Manual de Esterilización para Centros de la Salud (p. 99)

2.2.1.4 Procedimiento previo a la esterilización

“Es el procedimiento general de la limpieza de los materiales
“Según Manual de desinfección y Esterilización hospitalaria, los pasos a seguir para la limpieza de los materiales son: Recepción, Clasificación, Prelavado o descontaminación, Lavado, Secado”,
(Borja, Burga, & Chang, 2002).

A. Recepción

“Se realiza en la zona sucia (descontaminación) o zona roja. A través de una puerta con ventana de paso, se recibirán los materiales e instrumentales que deben ser verificados en

número, estado, procedencia y que deberán anotarse en el registro respectivo. El traslado del material entre los diferentes servicios o áreas, debe llevarse a cabo teniendo en cuenta las normas de Bioseguridad necesarias sin dejar de lado el hecho que al utilizar el coche de transporte, el compartimiento inferior deberá utilizarse solo para el transporte de material sucio o contaminado (**Borja, Burga, & Chang, 2002**).

B. Clasificación

Después de realizar la recepción del material, este será clasificado de acuerdo al tipo de material, que puede ser:

- Metálico (acero inoxidable)
- Polietileno
- Goma
- Plástico o
- Vidrio

C. Pre-lavado o descontaminación del material

“Es una de las principales tareas dentro de la limpieza de los artículos y antecede a cualquier otra tarea con ese fin” (**Borja, Burga, & Chang, 2002**).

Este proceso se realiza sumergiendo el material (remojando) en una bandeja o recipiente perforado con detergente enzimático (de acuerdo al tiempo recomendado por el fabricante); pasando luego el material por el chorro de agua. Así, se logra la remoción y disminución de la biocarga por arrastre sin manipulación alguna para que el operador pueda realizar la limpieza manual en forma segura. (**Borja, Burga, & Chang, 2002**)

Algo que no podemos dejar de mencionar es que en realidad, casi siempre el material utilizado en un procedimiento o en una cirugía no es conducido a la Central de Esterilización (C.E.) Inmediatamente. Esto da como resultado que la biocarga (sangre, materia orgánica u otros) se seque y dificulte aún más el lavado si es que este no se lleva a cabo con el debido pre-lavado. Por ello se recomienda que si fuera posible se realice la descontaminación o el pre-lavado, en la misma área donde se utiliza el material y luego este sea conducido a la C.E. en los recipientes adecuados **(Borja, Burga, & Chang, 2002)**.

D. Lavado de Material

Los artículos una vez clasificados y pre-lavados (descontaminados) serán llevados al lavado, teniendo en cuenta los protocolos estandarizados por la entidad competente (MINSA).

E. Secado de Material.

El secado del instrumental, de los equipos y de otros artículos de uso hospitalario, constituye parte fundamental durante el proceso de la limpieza.

Para realizar este es necesario tener en cuenta el grado de humedad de los artículos, ya que podría interferir en los procesos de desinfección o esterilización. El secado puede ser manual y automático, En la figura N°14 se observa el secado manual, debe realizarse con un paño o con aire comprimido.

Para la segunda opción, se debe contar con un tubo específico para cada lumen. **(Borja, Burga, & Chang, 2002)**.

La principal ventaja del secado automático radica en su velocidad para llevar a cabo este proceso, reduciendo no solo el tiempo de trabajo, sino los costos derivados de este (**Borja, Burga, & Chang, 2002**).

2.2.1.5 Validación de los métodos de esterilización

Para asegurar la calidad del procedimiento y método, es indiscutible el uso de indicadores para monitorizar la esterilización. Éstos se clasifican en tres grupos:

Monitores físicos, Indicadores químicos e Indicadores biológicos.

A. Indicadores físicos

Son elementos de medida incorporados al esterilizador, tales como termómetros, manómetros de presión, sensores de carga, válvulas y sistemas de registro de parámetros, entre otros. Permiten visualizar si el equipo ha alcanzado los parámetros exigidos para el proceso, sin embargo estos monitores pueden presentar errores o no reflejar lo que ocurre realmente con el proceso. Esto es debido a la existencia de otros factores que afectan la esterilización, como son el tamaño de la carga y la presencia de materia orgánica no detectados por los monitores físicos. Los monitores Físicos son de gran utilidad, pero no suficientes como indicadores de esterilización. (**Borja, Burga, & Chang, 2002**).

B. Indicadores químicos - Test de Bowie Dick - Clase II

Es un método para evaluar la eficacia del sistema de vacío del autoclave de pre-vacío, cuya finalidad consiste en demostrar la ausencia de aire u otros gases no condensados en la cámara

de esterilización que puedan impedir la rápida y uniforme penetración del vapor en el interior de la carga.

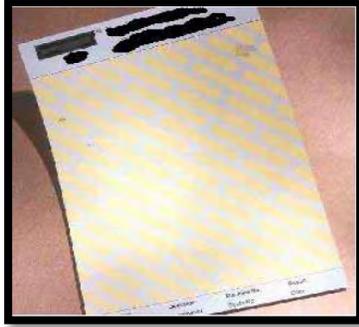
El paquete de prueba estará formado por paños o toallas de algodón puro, doblados de forma que finalmente alcancen la medida de 22 x 30 x 25 cm. y un peso aproximado de 6.5 Kg. En el centro del paquete se colocará una hoja de prueba Bowie-Dick y todo tendrá su envoltorio correspondiente. Este paquete se colocará en la parte inferior de la cámara, cerca de la puerta y en posición horizontal (La hoja paralela a la base del esterilizador).

Se realizará un ciclo de 134° C con tiempo de exposición entre 3.5 a 4 minutos, (Rutala, 1996, AORN 1994, Scali 1997).

Al final del ciclo se retirará el paquete y se interpretarán los resultados. En una prueba correcta el indicador habrá virado hacia otra tonalidad de manera uniforme y en toda su extensión, tal y como se aprecia en la Figura N°2. Una prueba incorrecta se manifiesta por un color más tenue que el indicado por el fabricante o por la aparición de manchas o zonas de distinto color o densidad.

Aspectos críticos: Si el test indicara una esterilización incorrecta (positivo) deberá ser repetido. Si se confirma esto, debe interrumpirse la operación del equipo y solicitar asistencia a mantenimiento (Revisión de purgadores, solenoides y bomba de vacío. Después de la revisión, se volverá a tomar el test para corroborar su funcionamiento (**Borja, Burga, & Chang, 2002**).

Figura N°2
Validación del Test De Bowie Dick



Fuente: Borja, Burga, & Chang, 2002, Manual de desinfección y Esterilización (p. 78)

C. Indicadores biológicos (IB)

Son preparados que contienen una carga suficiente de microorganismos de alta resistencia (*Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus*, *Niger* y otros) a la esterilización y cuya destrucción, al ser sometidos a un ciclo determinado, indica que esta se ha desarrollado satisfactoriamente (**Borja, Burga, & Chang, 2002**).

Los controles biológicos son en la actualidad el único medio disponible para confirmar la esterilización de un artículo o para determinar la efectividad del proceso de esterilización. Están diseñados de tal manera que luego de la incubación en un periodo de 72 horas, la lectura e interpretación sea muy fácil y rápida para confirmar la presencia o ausencia de microorganismos viables después del proceso de esterilización, tal y como se observa en la Figura N°3.

Estos indicadores se deben introducir al interior y en el punto medio de los paquetes más grandes y más pesados de la carga. Deben usarse diferentes controles en los distintos ciclos de cada equipo.

La desventaja de estos indicadores es el tiempo de espera por los resultados, ya que la lectura se realiza a partir de las primeras 12 horas y con un máximo de 72 horas (**Mayhall Glenn**).

Figura N°3
Validación de Indicadores biológicos



Fuente: Mayhall Glenn. Hospital Epidemiology and Infeccion Control, Cap. X

Se clasifican los indicadores biológicos (IB) en primera, segunda y tercera generación, de acuerdo al orden de crecimiento, velocidad y rapidez de aparición de resultados.

- **Primera generación:** Aparecen de una forma muy simple como tiras de papel con esporas, y se tenía que transportar al laboratorio para incubarlas. Ésta duraba de 2 a 7 días (**Mayhall Glenn**).

- **Segunda generación:** Son ampollas con el contenido seco de esporas, en la cual la lectura final se realiza a las 48 horas. Cuenta con una incubadora portátil. Estos indicadores no están disponibles para el calor seco (**Mayhall Glenn**).

- **Tercera generación:** Son indicadores biológicos de lectura rápida. En la actualidad, se ha diseñado un nuevo indicador biológico basado en la detección de una enzima asociada a las esporas de los microorganismos. El método es más sensible y tiene en la incubadora una lámpara de luz ultravioleta (fluorescencia) para acelerar el proceso de lectura, la cual permite obtener resultados **en tres horas** comparado con las 48 horas del control biológico tradicional (**Mayhall Glenn**).

2.2.1.6 Descripción de las etapas de un ciclo de esterilización

Esteriliza con vapor de agua saturado exento de aire (Zerra, 2013)

- A. **Marcha:** Se cierran las puertas herméticamente para que la cámara quede estanca.
- B. **Purga de aire:** En esta fase se eliminara el aire contenido en la cámara y se favorecerá a la eliminación posterior del aire dentro de los paquetes y de los contenedores. Para ello se inyecta vapor en la cámara y se activa el sistema de vacío.
- C. **Preparación:** Para la extracción del aire de los productos y de la cámara, se realiza una serie de fases (hasta cuatro) de inyección de vapor (de recámara a cámara) seguidas de fases de vacío (pre-vacío), mediante el sistema de vacío, para eliminar completamente el aire restante.
- D. **Calentamiento:** Se introduce vapor en la cámara y en el interior de los contenedores, hasta alcanzar la temperatura y presión de esterilización.
- E. **Esterilización:** Se mantiene constante la temperatura y presión en la cámara durante el correspondiente tiempo de esterilización.

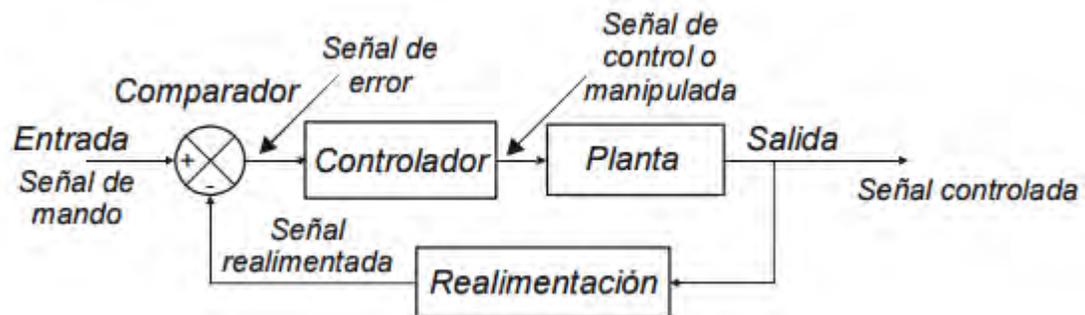
- F. **Desvaporización:** El vapor de la cámara es eliminado por el sistema de vacío y se produce un descenso de la presión.
- G. **Secado:** Se inicia un vacío final, profundo y duradero. Se mantiene el vapor en la recámara, para mantener caliente la cámara y ayudar a secar el producto a fin de evitar todo tipo de recontaminación bacteriana durante el transporte y el almacenamiento.
- H. **Igualación:** Entrada de aire atmosférico a la cámara, a través de un filtro de aire estéril, para compensar la presión de la cámara (que estaba en depresión) con la atmosférica. El vapor utilizado se condensa y se convierte en agua transportándose a un depósito.
- I. **Finalización del proceso:** Se liberan las puertas para que puedan ser abiertas.

2.2.2 Sistemas de control automático

“Todos los sistemas de control automático se basan en el principio de realimentación llamado **Feedback**, en la figura 4 se observa, un elemento primario de medición que mide el valor de una variable, ese valor es comparado dentro de un controlador con el valor deseado que ha sido ajustado previamente y que es llamado Set Point”, **Arzate, G. Á & Ordaz, G. V. (2002)**.

“Cualquier diferencia entre el punto de ajuste y el valor de la variable del proceso ocasiona que el controlador envíe una señal al elemento final de control para que el proceso quede en el valor deseado”, **Arzate, G. Á & Ordaz, G. V. (2002)**

Figura N° 4
Sistema de control automático

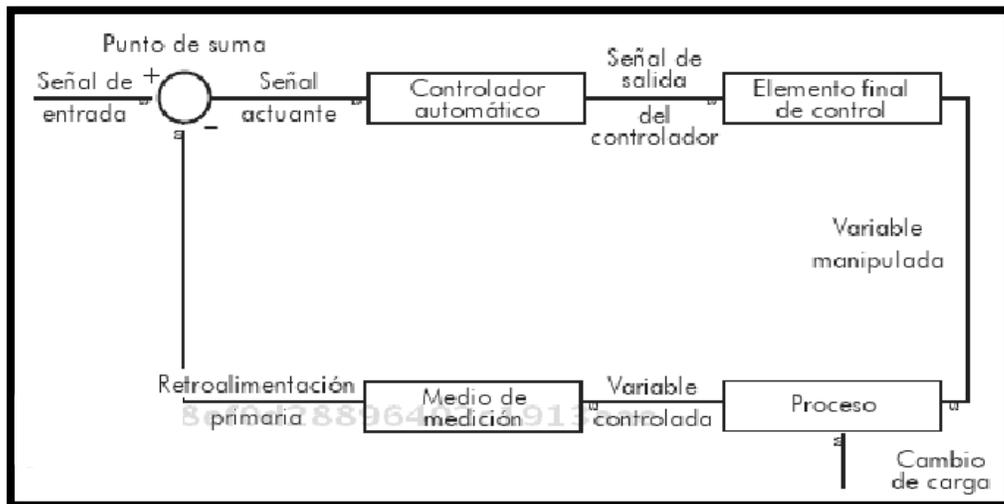


Cada vez que la señal recorre el circuito completo el error se va reduciendo hasta llegar a ser prácticamente cero.

Los controladores más empleados son accionados en forma neumática, eléctrica o electrónica y raramente en forma hidráulica o mecánica.

En la figura N°5 se observa el sistema de control automático que es llamado también circuito de control, lazo de control, rizo o loop de control.

Figura N°5
Circuito de control



Fuente: Avalos Arzate, G. (2002). Teoría de Control (p. 26)

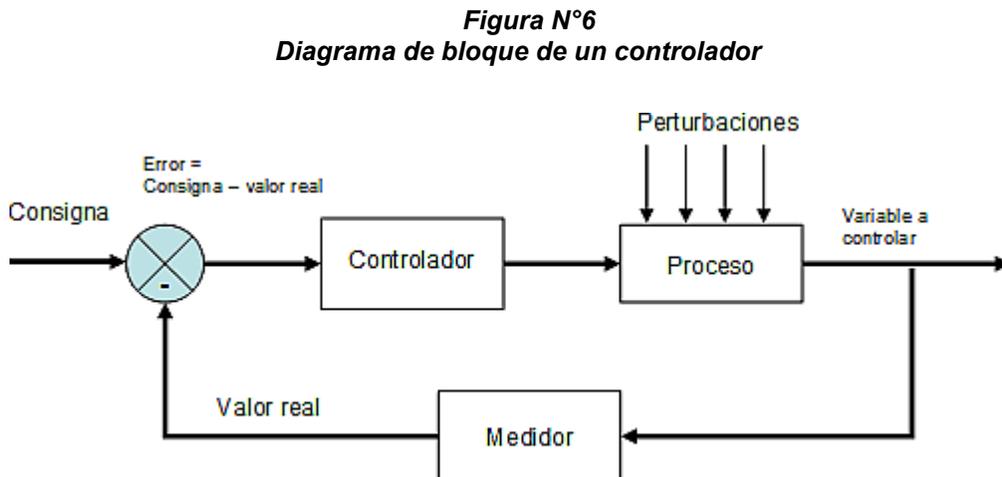
El controlador contiene normalmente como parte integral un componente llamado punto de suma o de cómputo, este componente es el que compara la retroalimentación primaria y la entrada de referencia (punto de ajuste).

Si hay alguna diferencia entre los valores, se origina la señal actuante; la que es amplificada por el controlador para que pueda modificar la posición del elemento final de control.

El controlador compara los cambios que ocurren en la variable con respecto al punto de ajuste y genera una señal correctiva hacia el punto final de control para mantener al proceso en el punto final de control, el controlador produce esta acción correctiva llamada modo de control. **Arzate, G. Á & Ordaz, G. V. (2002).**

2.2.2.1 Acción de Control

Dependiendo de la acción del proceso, un incremento en la medida puede requerir incrementos o disminuciones del valor de la señal de salida para el control (Figura N°6).



Todos los controladores pueden ser conmutados entre acción directa o inversa. La acción directa significa que cuando el controlador detecta un incremento de señal desde el transmisor, genera un incremento en la salida. La acción inversa significa que un incremento en las señales de medición hace que la señal de salida disminuya (**Chen, Chi Tsong**).

El primer paso es determinar la acción de la salida. Por ejemplo, por razones de seguridad una válvula neumática que inyecte vapor debe cerrarse si existe un fallo en el suministro de aire para el control de la válvula. Por lo tanto, la misma debe ser normalmente abierta con aire, y normalmente cerrada sin aire, (**Chen, Chi Tsong**).

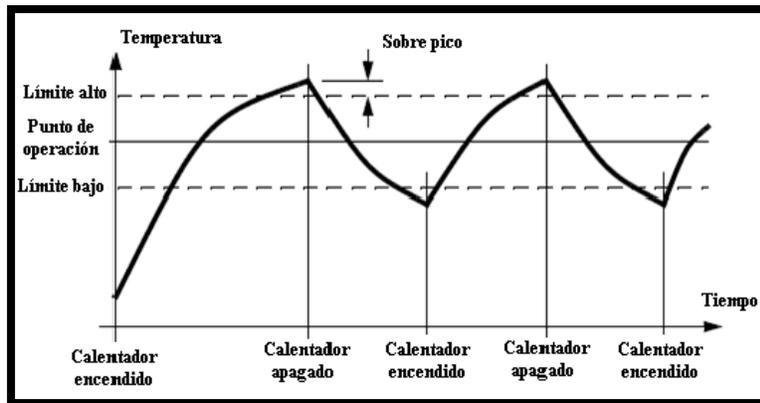
Segundo, considerando el efecto de un cambio en la medición. Por ejemplo, para disminuir la temperatura del esterilizador el caudal de vapor debería ser reducido, por lo tanto, la válvula deberá cerrarse. Para cerrar esta válvula, la señal del controlador automático hacia la válvula debe disminuir, por lo tanto el controlador requiere una acción inversa, (**Chen, Chi Tsong**).

Si se eligiera la acción directa la señal del controlador automático debería incrementarse dando como resultado un aumento del caudal de vapor, haciendo que la temperatura se incremente. El resultado sería un descontrol en la temperatura. Una selección incorrecta de la acción del control siempre resulta en un lazo de control inestable tan pronto como el mismo es puesto en marcha.

2.2.2.2 Respuesta de la salida

El controlador automático usa cambios en la señal de medición para controlar la señal de salida, es decir, mantener el punto de operación. El control de cualquier proceso es función de lo bien que una señal de medición responde a estos cambios en la salida del controlador. En la Figura N°7 se observa la respuesta de la temperatura dentro de un calefactor cuando la válvula de vapor es abierta y cerrada.

Figura N°7
Tiempo de respuesta de la temperatura en un calefactor



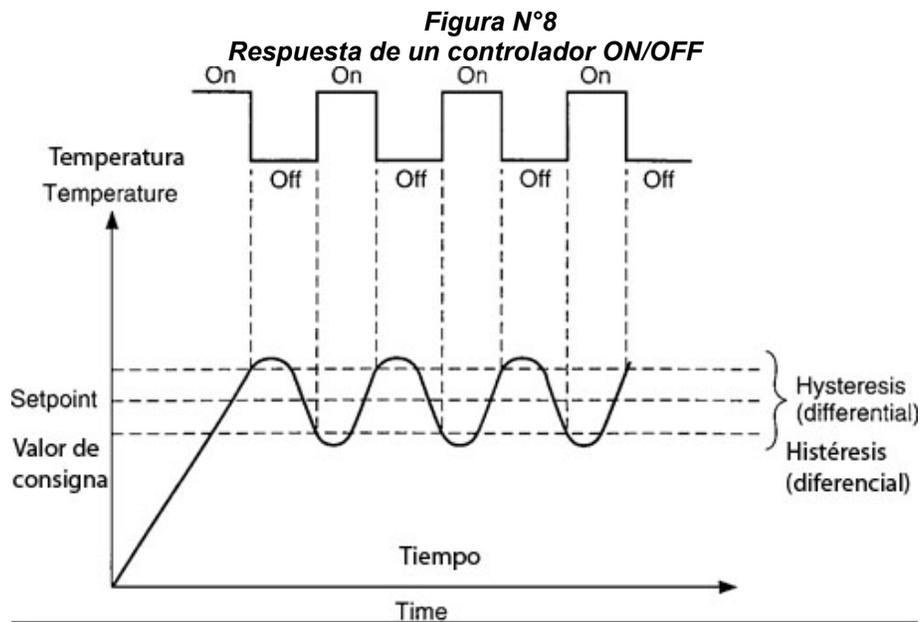
Fuente: Chen, Chi Tsong, *Analog and Digital Control System* (p. 551-563)

El proceso puede ser caracterizado por dos elementos de su respuesta, el primero es el tiempo muerto (*Dead time, por su significado en inglés*), es el tiempo antes que la medición comience a responder. Segundo, la capacidad de un proceso, específicamente, la constante de tiempo, que es definido como el tiempo necesario para completar el 63% de su respuesta total (**Chen, Chi Tsong**).

Combinados con el tiempo muerto, los mismos definen cuánto tiempo lleva para que la señal responda a cambios en la posición de la válvula.

2.2.2.3 Control ON/OFF

Este tipo de control encendido/apagado (*on/off, por su significado en inglés*) es mostrado en la Figura 8, donde se puede observar el accionamiento de la salida "calefactor" (representando la variable que calienta el sistema) como de encendido y apagado. Para un controlador de acción inversa y una válvula del tipo on/off.



El controlador tiene dos salidas que son para máxima apertura y para apertura mínima o válvula cerrada. Para este sistema se ha determinado que cuando la medición cae debajo del valor de consigna, la válvula se abra; en caso de que esté por encima del valor de consigna la válvula se cierre (**Chen, Chi Tsong**).

Adicionalmente se observa en la Figura 3, como se utiliza un ciclo de histéresis para controlar la variable del proceso, es decir, el encendido y apagado de la válvula no es ejecutado justo en el punto de operación sino un delta más arriba para cerrar y un delta más abajo para abrir; esto podría evitar el daño prematuro del sistema de instrumentación del proceso debido a los numerosos accionamientos, a causa de la filosofía del control (**Chen, Chi Tsong**).

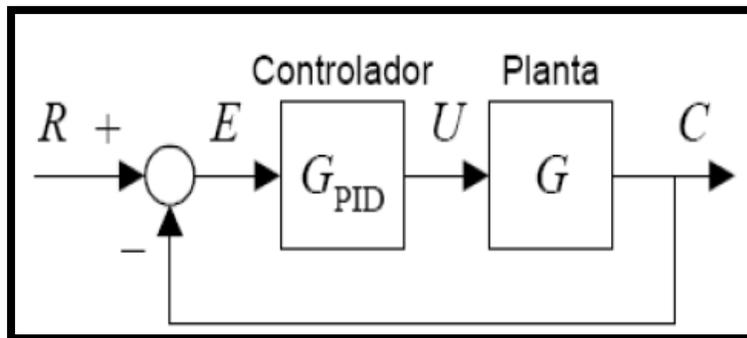
El ciclo continuará indefinidamente, debido a que el controlador no puede balancear el suministro contra la carga. La continua oscilación puede o no ser aceptable, dependiendo de la amplitud y longitud del ciclo. El tiempo de cada ciclo dependerá de dos factores; primero del tiempo

muerto del proceso y el ancho de la histéresis. El período de la señal depende de cada proceso, debido a la rapidez con que la señal de medición cambia durante cada ciclo, (*Instrumentación y Automatización Venezolana. 2005*).

2.2.2.4 Control proporcional integral derivativo (PID)

El controlador proporcional-integral-derivativo, o controlador PID, es un dispositivo de control genérico donde el diseñador sólo tiene que dar valores adecuados, según lo requiera la situación, a los distintos parámetros que contiene.

*Figura N° 9
Sistema de control con PID*



Fuente: *Instrumentación y Automatización Venezolana, Intrave C.A. Control de Procesos. 2005. p. 52-63.*

El diagrama de bloques mostrado en la Figura 9, representa un sistema controlado por un sistema **PID**, en donde **R** es el valor de consigna o punto de operación. **E** Es la señal de error que posee la medición con respecto al punto de operación; **G_{PID}** es el controlador PID encargado de realizar la lógica de control; **U** la salida del controlador aplicada sobre la planta para reducir en lo posible el error del sistema; **G** la planta que representa la función de transferencia del sistema a controlar; y por último **C** es la medición del parámetro a controlar en el proceso, es decir, en la planta. (*Instrumentación y Automatización Venezolana, 2005*).

Este tipo de control se presenta de diferentes modos, la respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, acción integral y acción derivativa están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional **(Hugh, Jack 2007)**.

Las ecuaciones básicas generales del control PID se presentan a continuación (ecuaciones 5 y 6):

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + Ki \cdot \int e(t) dt + Kd \cdot \left(\frac{de(t)}{dt}\right) \quad (5)$$

$$u(t) = Kp \cdot \left[e(t) + \frac{1}{Ti} \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + Td \cdot \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (6)$$

Dónde:

U(t): variable de control o salida del PID.

e(t): error del sistema o medición menos valor de consigna.

Kp: constante proporcional.

Ki: constante integrativa

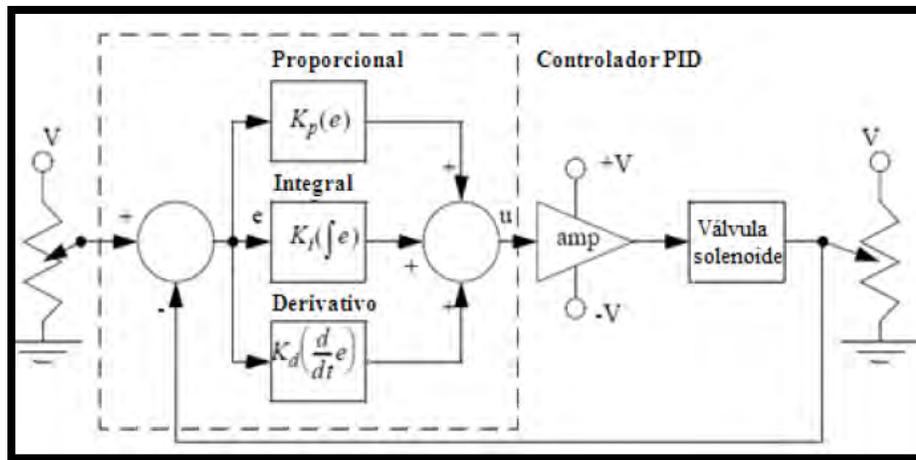
Ti: tiempo integral

Kd: constante derivativa

Td: tiempo derivativo

En la Figura 10 se puede observar el diagrama de bloques de un control PID dentro de un proceso cualquiera, también llamado configuración paralela por cómo se representa el mismo **(Hugh, Jack. 2007)**

Figura N°10
Diagrama de bloques de un controlador PID



Fuente: Hugh, Jack. 2007. Automating manufacturing systems with PLCs. P. 20-88 y 596-612

En la Figura 11 se presenta el esquema donde se puede observar la función que ejerce el control PID sobre un proceso.

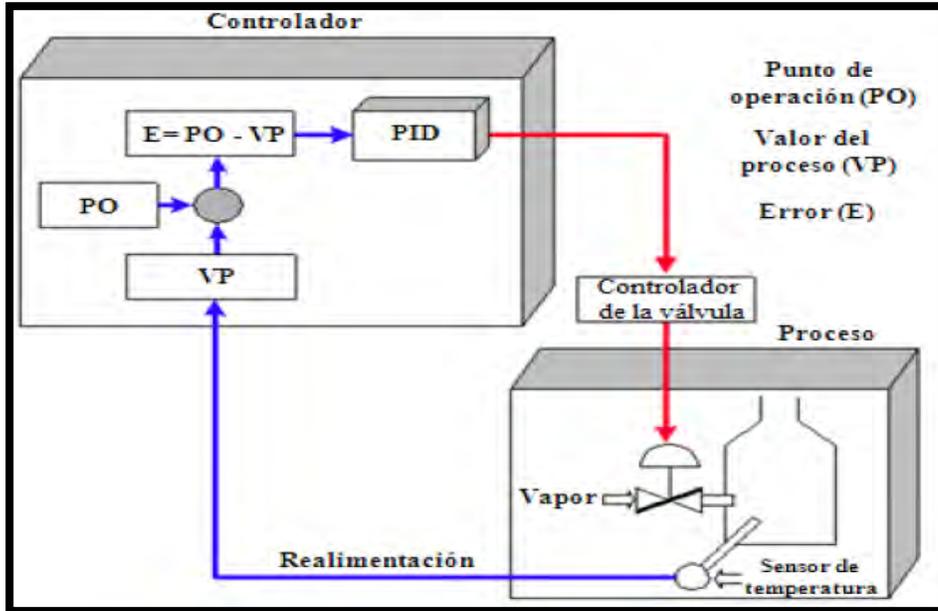
A. Las acciones del PID :

- **Acción proporcional (P)**

Proporcional significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje de cambio en la medición. Este múltiplo es llamado “ganancia” del controlador. Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio del ajuste de ganancia, mientras que para otros se usa el término “banda proporcional”. Ambos tienen los mismos propósitos y efectos (**Chen, Chin Tsong**).

Figura N°11

Diagrama esquemático de la función de un control PID sobre un proceso de control de temperatura.

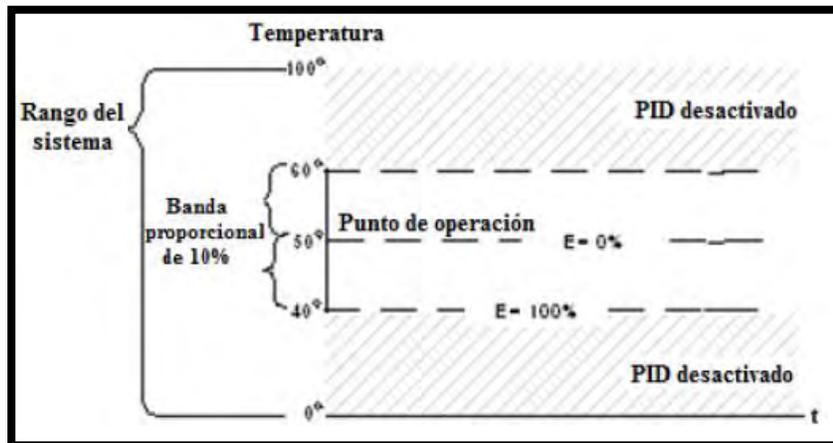


Fuente: Hugh, Jack. 2007. Automating Manufacturing Systems with PLCs. P. 20-88 y 596-612

La "banda proporcional" es un rango definido en torno al punto de consigna, se expresa como un porcentaje del valor del proceso total. Cuando la medición se encuentra dentro de ese rango, el control proporcional entra en ejecución, ver Figura 11. La banda proporcional puede superar el 100% del rango del proceso. En ese caso, el control proporcional se aplica a todo el rango. (Chen, Chin Tsong).

Figura 12

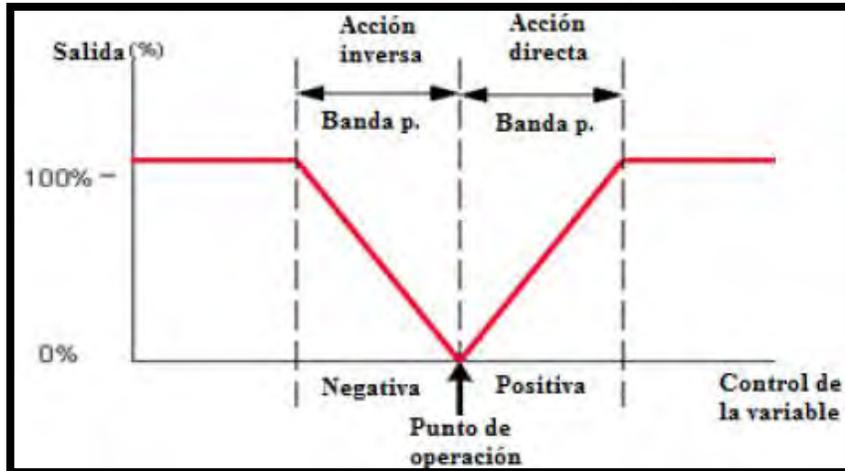
Relación de la banda proporcional y el valor de consigna



Fuente: Chen, Chi Tsong, Analog and Digital Control System (p. 551-563)

Para cada valor de la banda proporcional se define una relación entre la medición y la salida. Por cada valor de medición existe un valor específico de salida. En la Figura 13, se observa esta relación para una acción directa o inversa.

Figura 13
Relación entre la salida de control y banda proporcional



Fuente: Chen, Chi Tsong, *Analog and Digital Control System* (p. 551-563)

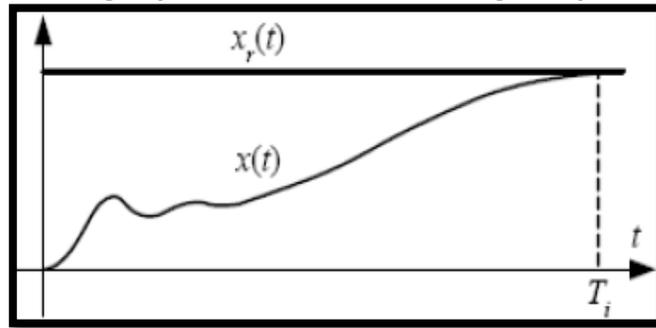
- **Acción proporcional integral (PI)**

También llamado acción integral o reset, cuando cualquier error “e” exista entre la medición y el valor de consigna, la acción integral hace que la salida comience a cambiar y continúe cambiando en tanto el error exista.

Esta función, entonces, actúa sobre la salida para que cambie hasta un valor correcto necesario para mantener la medición en el valor deseado. La acción integral soluciona este problema aumentando el valor de acción de forma proporcional a la integral del error, lo que genera que la función integral del error aumente paulatinamente mientras exista error no nulo hasta alcanzarlo. La constante de tiempo de integración “Ti” da una idea del tiempo que se tarda en anular el error de forma automática. Esto se puede mostrar, de forma aproximada, utilizando un error en régimen permanente constante, en donde, el tiempo “Ti” da una idea del

momento en que se anula el error en régimen permanente (ver Figura 14). Si se elige una T_i muy elevada, el sistema tarda mucho en alcanzar la referencia (**Chen, Chin Tsong.**)

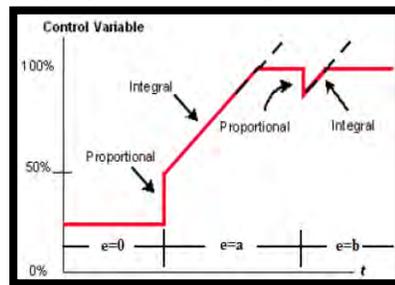
Figura N° 14
Acción integral para eliminar el error en régimen permanente



Fuente: Chen, Chi Tsong, Analog and Digital Control System (p. 551-563)

En lazo abierto la respuesta agregada a la acción proporcional del controlador se muestra en la Figura 15.

Figura 15
Respuesta de un control proporcional integral a lazo abierto ante un escalón



Fuente: Chen, Chi Tsong, Analog and Digital Control System (p. 551-563)

El escalón de cambio en la medición produce una respuesta proporcional, y luego una respuesta integral. Cuanta más acción integral exista en el controlador, es decir, un T_i más bajo, más rápido cambia la salida en función del tiempo. La correcta cantidad de acción integral depende de cuán rápido la medición puede responder al recorrido adicional de válvula que la misma causa.

El controlador no debe comandar la válvula más rápido que el tiempo muerto en el proceso, permitiendo que la medición responda, o de otra manera la válvula irá a sus límites antes de que la medición pueda ser retornada nuevamente al valor de consigna. La válvula se mantendrá entonces en su posición extrema hasta que la medición cruce el valor de consigna en la dirección opuesta. El resultado será un ciclo integral en el cual la válvula se desplaza de un extremo al otro a medida que la medición oscila alrededor del valor de consigna **(Chen, chin tsong.)**

El control integral (también llamado modo reset) es para eliminar el error en régimen permanente (*offset*, por su significado en inglés) que genera el control proporcional en ciertos sistemas, en otras palabras, conseguir el mínimo error cuando el sistema se estabiliza.

Si hay exceso de control integral el resultado será una oscilación de la medición. Si al contrario existe un bajo control integral, es decir, un T_i más elevado, el resultado será que la medición retorna al valor de consigna más lentamente.

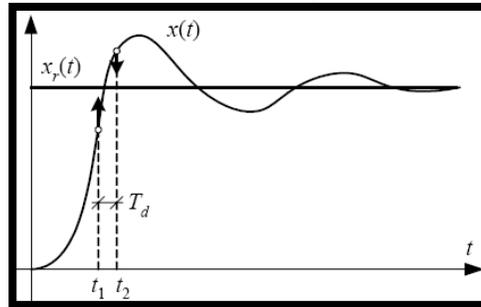
- **Acción proporcional derivativa (PD)**

Una forma de evitar las fuertes oscilaciones que se pueden producir en torno a la referencia es añadir a la acción proporcional otra acción proporcional a la derivada del error. Esto es lo mismo que dotar al sistema de una cierta capacidad de “anticipación” porque la inclusión del término derivativo es equivalente a actuar proporcionalmente al error que existirá dentro de “ T_d ” segundos **(Chen, Chin Tsong.)**

Esta antelación es beneficiosa porque el sistema es capaz de “frenar” antes de llegar a la referencia. En la Figura 16 se muestra cómo en el instante “ t_1 ” el error todavía es positivo, por lo que el control proporcional

seguirá actuando en la planta para acercar la masa a la referencia, aunque sea una fuerza pequeña. Pero debido a la inercia del sistema en un tiempo relativamente pequeño se rebasará la posición de referencia por lo que en ese instante se introduce una fuerza contraria o “de frenado”. Es decir, actuar en “ t_1 ” con la fuerza que se estima para t_2 .

Figura N° 16
Acción derivativa sobre la respuesta de un sistema

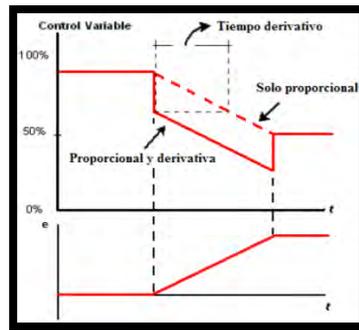


Fuente: Chen, Chi Tsong, Analog and Digital Control System (p. 551-563)

La salida derivativa es proporcional al régimen de cambio del error. Cuanto mayor sea el cambio, mayor será la acción derivativa. La acción derivativa se mantiene mientras la medición esté cambiando. Tan pronto como la medición deje de cambiar, esté o no en el valor de consigna, la respuesta debido a la acción derivativa cesará. El tiempo derivativo, es el tiempo que la respuesta proporcional del lazo abierto más la respuesta derivativa está delante de la respuesta resultante del valor proporcional solamente. **(Chen, Chin Tsong.)**

Así, cuanto más grande sea el tiempo derivativo mayor será la respuesta derivativa (ver Figura 17).

Figura N° 17
Respuesta proporcional derivativa a lazo abierto



Fuente: Chen, Chi Tsong, *Analog and Digital Control System* (p. 551-563)

B. Método experimental de Ziegler - Nichols

El ajuste Ziegler-Nichols propone unos parámetros para el PID de forma que el sistema controlado posea un buen rechazo a las perturbaciones que se puedan introducir en el sistema. Esto quiere decir que el seguimiento que hace el sistema a la referencia puede ser poco amortiguado (oscilatorio), con demasiado sobre impulso (**Chen, Chin Tsong**).

Existen dos formas de ajuste:

El primero se basa en un lazo de control solo con ganancia proporcional y de acuerdo a la ganancia utilizada para que el sistema empiece a oscilar y al periodo de esas oscilaciones, podemos establecer las ganancias del controlador PID (**Virginia Mazzone, 2002**).

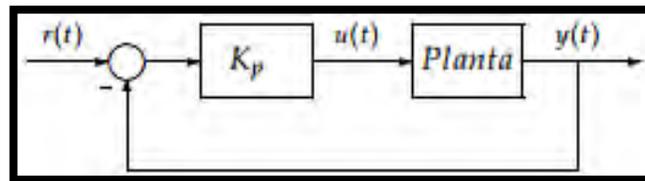
El otro método se resume en ensayar al sistema a lazo abierto con un escalón unitario, se calculan algunos parámetros, como la máxima pendiente de la curva y el retardo, y con ellos establecemos las ganancias del controlador PID (**Virginia Mazzone, 2002**).

C. Método de Oscilación

Este procedimiento es válido solo para plantas estables a lazo abierto y se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos:

1. Utilizando solo control proporcional, comenzando con un valor de ganancia pequeño, incrementar la ganancia hasta que el lazo comience a oscilar. Notar que se requieren oscilaciones lineales y que estas deben ser observadas en la salida del controlador (Figura 18).

Figura N° 18
Lazo cerrado solo con ganancia proporcional



Fuente: Virginia Mazzone, 2002. *Automatización y Control Industrial*, (Pg. 5)

2. Registrar la ganancia crítica del controlador $K_p = K_c$ y el periodo de oscilación de la salida del controlador, P_c (en el diagrama de Nyquist, corresponde a que $K_c G(j\omega)$ cruza el punto $(-1, 0)$ cuando $K_p = K_c$). (ver figura 22).
3. Ajustar los parámetros del controlador según la Tabla N° 4:

Tabla N° 4
Parámetros de ajuste (método de oscilación)

	K_p	T_i	T_d
P	$0.50K_c$		
PI	$0.45K_c$	$\frac{P_c}{1.2}$	
PID	$0.60K_c$	$0.5P_c$	$\frac{P_c}{8}$

Fuente: Virginia Mazzone, 2002. *Automatización y Control Industrial*, (Pg. 6)

Dicha tabla fue obtenida por Ziegler y Nichols quienes buscaban una respuesta al escalón de bajo amortiguamiento para plantas que puedan describirse satisfactoriamente por un modelo de la forma:(Virginia Mazzone, 2002).

$$G_0(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{v_0 s + 1}, \quad \text{donde} \quad v_0 > 0$$

D. Método basado en la curva reacción

Muchas plantas, pueden ser descritas satisfactoriamente por el modelo:

$$G_0(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{v_0 s + 1} \quad \text{donde} \quad v_0 > 0$$

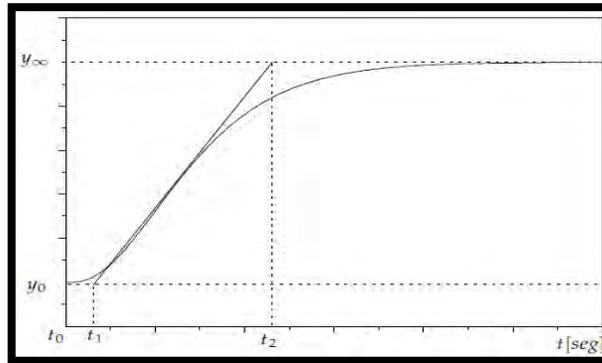
Una versión cuantitativa lineal de este modelo puede ser obtenida mediante un experimento a lazo abierto, utilizando el siguiente procedimiento:

1. Con la planta a lazo abierto, llevar a la planta a un punto de operación normal. Digamos que la salida de la planta se estabiliza en $y(t) = y_0$ para una entrada constante $u(t) = u_0$.
2. En el instante inicial t_0 , aplicar un cambio en la entrada escalón, desde u_0 a u_1 (esto debería ser en un rango de 10 al 20% de rango completo).
3. Registrar la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. Supongamos que la curva que se obtiene es la que se muestra en la Figura 19. Esta curva se llama curva de reacción del proceso.

Calcular los parámetros del modelo de la siguiente forma:

$$K_0 = \frac{y_\infty - y_0}{y_\infty - u_0}; \quad \tau_0 = t_1 - t_0; \quad v_0 = t_2 - t_1$$

Figura N° 19
Respuesta al escalón de la planta



Fuente: Virginia Mazzone, 2002. *Automatización y Control Industrial*, (Pg. 8)

El modelo obtenido puede ser utilizado para varios métodos de ajuste de controladores PID. Uno de estos también fue propuesto por Ziegler y Nichols. El objetivo de diseño es alcanzar un amortiguamiento tal que exista una relación de 4:1 para el primer y segundo pico de la respuesta a una referencia escalón. Los parámetros sugeridos por Z-N son los que se muestran en la Tabla 5 (Virginia Mazzone, 2002).

Tabla N° 5
Parámetros de ajuste (Método curva de reacción)

	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{v_0}{K_0 \tau_0}$		
PI	$\frac{0.9 v_0}{K_0 \tau_0}$	$3 \tau_0$	
PID	$\frac{1.2 v_0}{K_0 \tau_0}$	$2 \tau_0$	$0.5 \tau_0$

Fuente: Virginia Mazzone, 2002. *Automatización y Control Industrial*, (Pg. 9)

E. Entonación por Auto-tune

En el control moderno de algunos dispositivos como los PLC tienen incorporado, sistema de algoritmos que calculan los parámetros del PID de forma Automática, es decir, son capaces de auto-ajustarse a sí mismos, a través de un Método experimental.

Los controladores que poseen auto-ajuste (Auto-tune) también pueden realizar acciones de cálculo de parámetros de forma continua Adaptándose se al comportamiento y a los diferentes estados del proceso.

En cada cambio de referencia se calculan nuevamente los valores, esta función optimiza automáticamente los parámetros ajustados en el PID de una manera continua. Los algoritmos del auto-ajuste pueden variar en cada marca o modelo del PLC, pudiendo a veces requerir de un pre-ajuste con parámetros iniciales proporcionados por el usuario, de esta forma, el programa automáticamente comienza el cálculo de los parámetros para entonar el lazo.

2.2.3. Controlador lógico programable (PLC)

Es un dispositivo que ejecuta un solo programa (o de aplicación específica) de manera continua. Este Programa se desarrolla siguiendo una secuencia Lógica de operaciones para Controlar una máquina o equipo que debe interactuar con objetos o materiales que transforma.

Para determinar cuándo iniciar o terminar una operación se utilizan elementos conectados al PLC que proporcionan información sobre el estado de la máquina u objeto de trabajo (llamados comúnmente "sensores" porque sustituyen los sentidos del ser humano).

Estos elementos se conocen como "entradas", que pueden ser discretas (SI o NO, TODO o NADA, ESTÁ o NO ESTÁ, etc.) ya que sólo pueden tomar uno de dos posibles valores; y existen también "entradas" analógicas que proporcionan valores dentro de un rango (**Modesti, M. 2000**).

Lenguaje o Diagrama de Escalera (contactos) que asemeja un diagrama eléctrico de control.

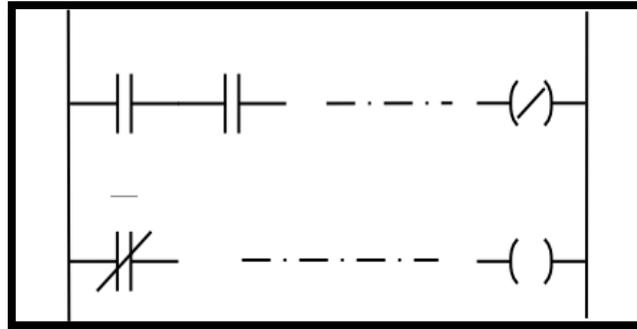
- Lenguaje o Diagrama de Funciones Lógicas o Diagrama de Bloques que asemejan las operaciones básicas de la electrónica digital (compuertas lógicas)
- Lista de Instrucciones o Comandos
- Lenguaje Estructurado
- Diagrama Gráfico de Secuencias

A. Programación de PLC con lenguaje Ladder

El lenguaje "ladder", sirve para crear y diseñar la estructura y programación lógica del PLC enfocado a la aplicación de control respectiva. Los diagramas de escalera están compuestos por contactos, bobinas y elementos de bloque de función ordenados en segmentos. Un segmento puede contener una o varias filas de elementos de programación.

En la figura N° 24 representa la estructura general de la distribución de todo programa LADDER, contactos a la izquierda y bobinas y otros elementos a la derecha (**FI-UNLP, 2004**).

Figura N°20
Distribución de Programación



Fuente: FI-UNLP (2004). *Instrumentación y Comunicaciones Industriales* (p. 7)

En cuanto a su equivalencia eléctrica, podemos imaginar que la línea vertical de la izquierda representa el terminal de alimentación, mientras que la línea vertical de la derecha representa el terminal de masa.

El orden de ejecución es generalmente de arriba abajo y de izquierda a derecha, primero los contactos y luego las bobinas, de manera que al llegar a éstas ya se conoce el valor de los contactos y se activan si corresponde. El orden de ejecución puede variar de un autómatas a otro, pero siempre se respetará el orden de introducción del programa, de manera que se ejecuta lo que primero se introduce. **(FI-UNLP, 2004)**

Aspectos vinculados a la programación

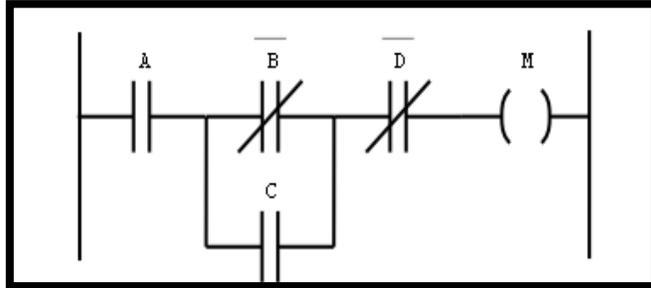
▪ **Sistemas combinatoriales**

Aunque en los sistemas industriales la programación se centra en procesos secuenciales, no teniendo demasiado interés los procesos combinatoriales, es necesario conocer la lógica combinatorial ya que en muchas ocasiones es necesaria en la programación secuencial.

Una vez obtenida la función lógica de un problema combinatorial, el paso a LADDER o esquema de contactos es muy sencillo. De acuerdo con el álgebra de Boole aplicada a la conmutación, las sumas serán contactos en paralelo, los productos contactos en serie y las negaciones contactos normalmente cerrados. En la siguiente figura N°

21 se muestra un ejemplo de esquema LADDER para una determinada ecuación (*FI-UNLP, 2004*).

Figura N°21
Función Ladder $M = A(B'+C)D'$



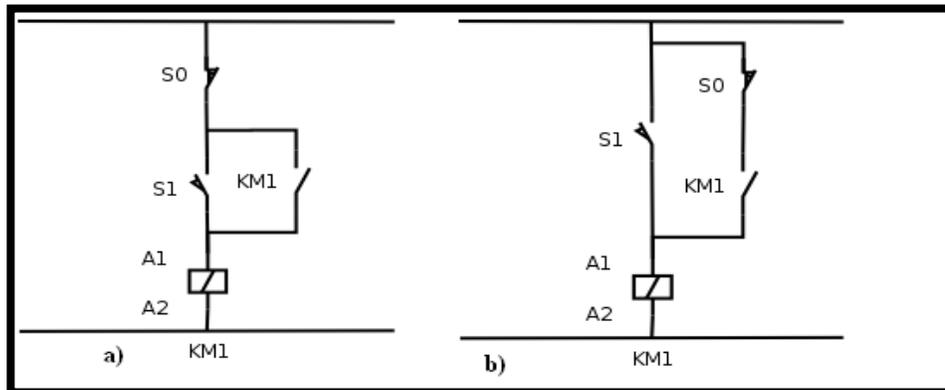
Fuente: *FI-UNLP (200 4). Instrumentación y Comunicaciones Industriales, (p. 10)*

- **Elementos de memoria**

La conexión tradicional para realizar una función de memoria en los circuitos con relés, es el circuito con auto-alimentación.

Esto se consigue mediante la conexión de un contacto NA del relé (o contactor) en paralelo con el pulsador de marcha. A continuación en la figura N° 22 se observa las dos variantes de este circuito: con prioridad a la desconexión (figura a) y con prioridad a la conexión (figura b) (*FI-UNLP, 2004*).

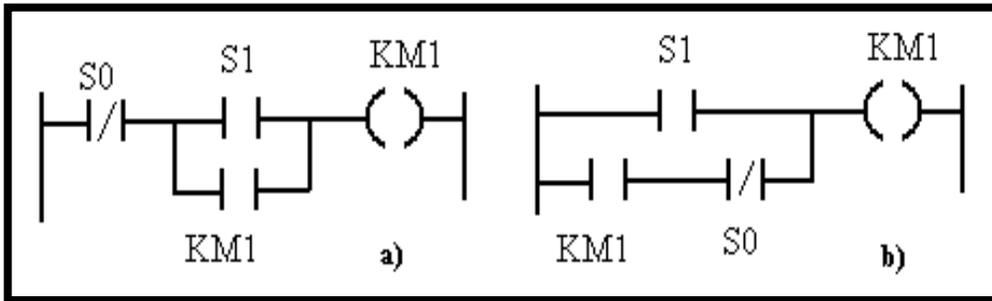
Figura N°22
Circuitos LADDER sin auto alimentación función $M = A(B'+C)D'$



Fuente: *FI-UNLP (200 4). Instrumentación y Comunicaciones Industriales, (p. 15)*

En la siguiente figura N° 23 se pueden observar los esquemas equivalentes en LADDER:

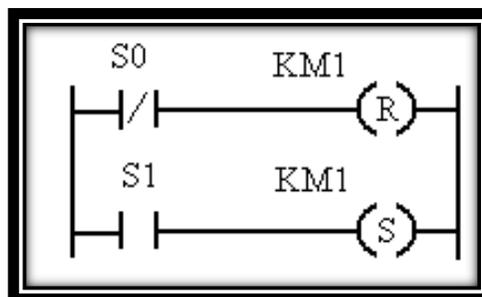
Figura N°23
Circuitos LADDER con auto alimentación Función $M = A(B'+C)D'$



Fuente: FI-UNLP (2004). Instrumentación y Comunicaciones Industriales, (p. 18)

Sin embargo, con ladder el esquema puede quedar mucho más sencillo si empleamos las bobinas de Set para la marcha y Reset para paro acorde a la figura 24:

Figura N°24
Circuito de marcha y paro con bobinas SET y RESET función $M = A(B'+C)D'$



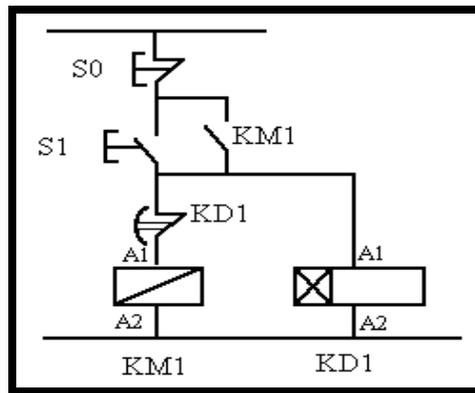
Fuente: FI-UNLP (200 4). Instrumentación y Comunicaciones Industriales, (p. 21)

En este caso la prioridad dependerá del PLC utilizado, aunque usualmente la función RESET tiene prioridad sobre la SET.

- **Elementos de tiempo**

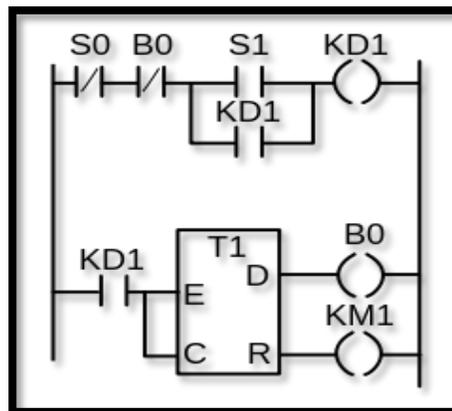
A continuación en la figura N° 25 se observa un ejemplo de programación de un automatismo temporizado. En la figura N° 26 corresponde con el mando de un motor con marcha temporizada:

Figura N°25
Automatismo temporizado función $M = A(B'+C)D'$



Fuente: FI-UNLP (200 4). Instrumentación y Comunicaciones Industriales, (p. 22)

Figura N°26
Aplicación de un temporizador en LADDER función $M = A(B'+C)D'$



Fuente: FI-UNLP (200 4). Instrumentación y Comunicaciones Industriales, (p. 23)

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Autoclave

Una autoclave es un recipiente metálico de paredes gruesas con un cierre hermético que permite trabajar a alta presión para realizar una reacción industrial, una cocción o una esterilización con vapor de agua. Su construcción debe ser tal que resista la presión y temperatura desarrollada en su interior.

La presión elevada permite que el agua alcance temperaturas superiores a su punto de ebullición. La acción conjunta de la temperatura y el vapor produce la coagulación de las proteínas de los microorganismos, entre ellas las esenciales para la vida y la reproducción de éstos, cosa que lleva a su destrucción.

En el ámbito industrial, equipos que funcionan por el mismo principio tienen otros usos, aunque varios se relacionan con la destrucción de los microorganismos con fines de conservación de alimentos, medicamentos, y otros productos.

La palabra autoclave no se limita a los equipos que funcionan con vapor de agua ya que los equipos utilizados para esterilizar con óxido de etileno se denominan de la misma forma. **(Saila, n.d.)**

2.3.2 Polipropileno:

El polipropileno es un material inerte que posee ciertas características que permiten su reciclaje sin un mayor impacto ambiental. Se trata de un termoplástico semicristalino que se origina a partir de la polimerización de propileno frente a un catalizador estereoespecífico. Este material es utilizado para un sinnúmero de productos termoplásticos, los que a su vez, cuentan con las más diversas aplicaciones.

2.3.3 Control SCADA:

SCADA, (*acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition* (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores) y controlando el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

La realimentación, también denominada retroalimentación o *feedback* es, en una organización, el proceso de compartir observaciones, preocupaciones y sugerencias, con la intención de recabar información, a nivel individual o colectivo, para mejorar o modificar diversos aspectos del funcionamiento de una organización. La realimentación tiene que ser bidireccional de modo que la mejora continua sea posible, en el escalafón jerárquico, de arriba para abajo y de abajo para arriba (**Siemens, n.d.**)

2.3.4 Feedback

Es un mecanismo de control de los sistemas dinámicos por el cual una cierta proporción de la señal de salida se dirige a la entrada, y así regula su comportamiento. El *feedback* también está presente en numerosos espacios tecnológicos. En este sentido, gran parte de los aparatos y máquinas que utilizamos en nuestra vida cotidiana funcionan a través del sistema de *feedback* ya que suponen el intercambio y traspaso permanente de datos (de cualquier tipo). Un ejemplo claro de esta situación es la conexión a internet que, además de contar con un espacio virtual, necesita de un soporte técnico y físico a través del cual se mandan y reciben permanentemente datos de diverso tipo. Esta conexión, en este caso particular, se puede realizar a través de cables de fibra óptica que

son los responsables de llevar y traer la información necesaria (**Sánchez, 2008**).

2.3.5 GRAFCET

Es un grafo o diagrama funcional normalizado, que permite hacer un modelo del proceso a automatizar, contemplando entradas, acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones. Inicialmente fue propuesto para documentar la etapa secuencial de los sistemas de control de procesos a eventos discretos. No fue concebido como un lenguaje de programación de autómatas, sino un tipo de Grafo para elaborar el modelo pensando en la ejecución directa del automatismo o programa de autómatas. Varios fabricantes en sus autómatas de gama alta hacen este paso directo, lo que lo ha convertido en un potente lenguaje gráfico de programación para autómatas, adaptado a la resolución de sistemas secuenciales. En la actualidad no tiene una amplia difusión como lenguaje, puesto que la mayoría de los autómatas no pueden programarse directamente en este lenguaje, a diferencia del Lenguaje Ladder (**Sánchez, 2008**).

2.4 Marco metodológico

2.4.1 Tipo de diseño de investigación

El trabajo investigativo es de enfoque cuantitativo, de diseño pre experimental en el que se elaboró el sistema de control automático de un equipo de autoclave de vapor.

2.4.2 Material

- **Unidad de estudio:**

Autoclave a vapor de la central de esterilización del Hospital Nacional Cayetano Heredia

2.4.3 Método

- a. Modelamiento del sistema de control automático
- b. Implementación del sistema de automatización
- c. Monitoreo del sistema de automatización
- d. Validación del proceso de esterilización

2.4.4. Análisis de datos

Este análisis se realizó con el programa estadístico SPSS versión 22. Las variables cuantitativas fueron procesadas con medidas de frecuencia, mínimo, máximo, promedio y desviación estándar.

Para el cálculo de correlación empírica de la presión de vapor con la temperatura se consideró teóricamente, la ecuación de Antonie.

$$\log_{10} P = A - \frac{B}{C + T}$$

Siendo:

- P , presión, generalmente en mmHg;
- T , temperatura, generalmente en °C;
- A , B y C parámetros empíricos, específicos para cada sustancia.

Para el cálculo aplicativo se hizo uso del coeficiente de correlación de Pearson porque hace referencia a la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de X y de Y .

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y},$$

Dónde:

- σ_{XY} es la covarianza de (X, Y)
- σ_X es la desviación típica de la variable X
- σ_Y es la desviación típica de la variable Y

2.5 Marco Legal.

La aplicación que se lleva a cabo en este proyecto está facultada por la norma:

2.5.1 ISO 9001 de 2008

Elaborada por la Organización Internacional para la Estandarización, y especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad que pueden utilizarse para su aplicación interna por las organizaciones. Desempeño de los procesos y conformidad del producto, estado de las acciones correctivas y preventivas, acciones de seguimiento de revisiones por la dirección previas, cambios que podrían afectar al sistema de gestión de la calidad, y recomendaciones para la *mejora*. **(Borja, Burga, & Chang, 2002.)**

2.5.2 ISO 13485

La implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad basado en la Norma ISO 13485 ofrece los siguientes beneficios para la empresa:

- Asegura el cumplimiento de los requisitos reglamentarios aplicables a los productos sanitarios.
- Asegura el cumplimiento de los requisitos del cliente.
- Aumenta la rentabilidad, debido a la reducción de los costes derivados de las no conformidades y reclamaciones.
- Mejora la imagen de mercado, aumentando la confianza de los clientes en situaciones contractuales.
- Permite el acceso a otros mercados.

En resumen, la implantación de un sistema de gestión de la calidad basado en la Norma ISO 13485 es igual a cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

2.5.3 EN 285:

Después de la instalación del esterilizador de vapor con capacidad para una y más unidades de esterilización, realizamos las pruebas de instalación y de capacitación operativa según la norma EN 285 (*Saila, n.d.*).

Características básicas:

- Configuración del plan de capacitación operativa.
- Programa de ensayos de capacitación operativa.
- Informe final relativo a la capacitación operativa.

2.5.4 Manual de Esterilización y Desinfección Ministerio de Salud.

En este manual se define los procedimientos estandarizados para realizar la esterilización y desinfección de los equipos e instrumentales; es de vital importancia aplicarlos dado que se encuentra en la actual norma vigente emitida por el órgano rector de salud en el Perú.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

3.1 Modelamiento

Etapa 1: Investigación Preliminar

- Investigación minuciosa de los pasos que se realizan en las diferentes etapas de un proceso de esterilización en el autoclave.
- Investigación de la cantidad de temperatura y presión que debe soportar los elementos a esterilizar estando dentro de la autoclave.
- Investigación de los resultados de las técnicas utilizadas actualmente para la esterilización.
- Definición de parámetros

Etapa 2: Estudio del equipo para el control de la autoclave

- Análisis de los datos tomados de la autoclave de forma manual.
- Realización del diagrama de instrumentación.
- Selección de sensores para las variables controladas (Presión y temperatura).
- Selección de los actuadores.
- Estudio de amplificadores de señales, diseño de filtros, conversores análogo digitales, en caso fueran necesarios.
- Elección de controladores lógicos que se adecuen a los requerimientos.

Etapa 3: Procedimiento empleado

La investigación es necesaria para la automatización de la autoclave, comienza con el estudio del proceso que realiza el trabajador al maniobrar dicha Máquina, desde el momento que carga el material en las canastillas, hasta la salida del aire encerrado en la cámara y finalmente al descargar el material. Debido a diversos factores como lentitud de la

línea de trabajo, falta de material y principalmente al trabajo de distintos tipos de material ya sea textil, papel, instrumental quirúrgico que no son colocados y distribuidos de forma correcta en las canastillas.

Primer paso, el personal se encarga de llenar las canastillas. Una vez que la autoclave ha sido cargada, y cerrada la puerta herméticamente.

Segundo paso, la temperatura se debe elevar a través de la inyección de vapor de agua saturado dentro de la autoclave hasta llegar al punto de operación del material seleccionado, esto para poder habilitar el comienzo de la siguiente fase, la cual es la etapa de esterilización. Durante el levantamiento de temperatura, en condiciones normales, la presión no debería exceder valores no deseados o peligrosos, por lo tanto no se requiere su control, pero sí supervisión, porque de existir aire dentro del equipo, fallas en la pureza del vapor u otros problemas, la presión podría elevarse a niveles peligrosos siendo necesario activar automáticamente la parada de emergencia. **El control PID** se activa en esta etapa, ya que cuando llegue al punto de Operación, comenzará la etapa de esterilización y a su vez el conteo regresivo del tiempo de esterilización, todo lo anterior con el control PID ya regulando la temperatura.

Tercer paso, durante **la etapa de esterilización** la temperatura lograda en el levantamiento se debe mantener a través de control PID sobre la válvula de vapor, por el tiempo configurado para cada material seleccionado. La presión en ésta fase es de gran interés, debido a que alejarse de la relación presión vs temperatura a vapor de agua saturado sería peligroso para la eficiencia del proceso. Adicionalmente, se tiene que el parámetro de temperatura debe ser supervisado, debido a que el mismo no puede descender más allá de un rango de seguridad, establecido en ± 2 °C, ya que de ocurrir esto, la esterilización no es confiable y se considera fallida; por lo tanto, se debe indicar cuando esto

ocurra, para que así el operador pueda reiniciar el proceso o tomar las acciones requeridas. **Para el cálculo de los parámetros del control PID que posee ésta etapa**, se utilizará el método automático de entonación del lazo presente en el equipo de control (PLC), llamado “auto-tune”. Para esto se debe realizar e incluir en el programa final, la lógica requerida para la ejecución de dicha función especial cuando se esté implementando el sistema.

Cuarto paso, terminado el tiempo de esterilización, **comienza la etapa del levantamiento de presión**, la cual Permite preparar el sistema para que el enfriamiento sea rápido y eficiente sin daños o deformaciones al producto; En ésta fase se prepara a la autoclave para aplicar el método de enfriamiento con agua a alta presión. Para subir la presión al valor establecido por el proceso a (20 psi aproximadamente) se contamina el vapor existente dentro de la autoclave a través de la inyección de aire a presión, logrando así un aumento de la presión dentro de la cámara hasta el punto de consigna. **Para el buen control de la presión se van a manejar las válvulas de venteo con un control proporcional integral derivativo (PID) y la válvula de aire con un control ON/OFF**, en donde la misma se va a mantener abierta para que la válvula de venteo realice el control preciso de la ubicación del sistema en el punto de operación.

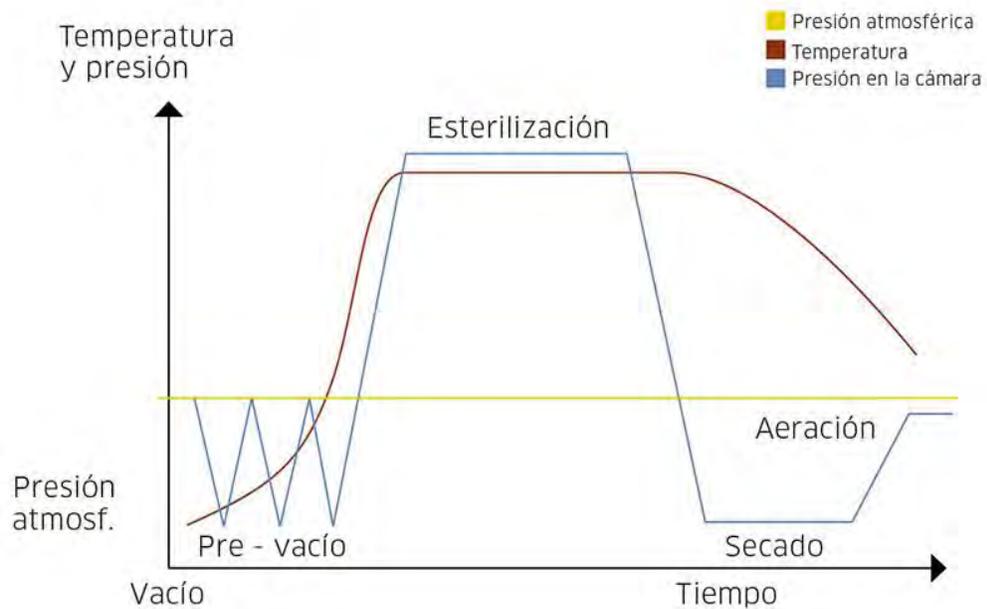
Quinto paso, después del **levantamiento de presión** se requiere la inyección de agua para enfriar el producto manteniendo obligatoriamente la presión obtenida en el levantamiento (20 psig); ésta acción de mantención la debe realizar **el control PID** de la válvula de venteo junto con la presión de la línea de aire. La inyección debe realizarse aplicando todo el poder de agua disponible debido a que el choque térmico con el producto no va a deformarlos, gracias a la presión controlada durante todo el proceso de enfriamiento. El final del enfriamiento vendrá definido por una temperatura menor a 30°C y por un nivel bajo de agua dentro del

esterilizador (señal del sensor de nivel). La inyección de agua son controlados por los sensores de nivel alto y de nivel bajo.

Al activarse la señal de nivel alto, además de detenerse la inyección de agua, se debe abrir la válvula de drenaje para así facilitar la expulsión del agua ya caliente y gracias a la presión constante, esta será expulsada. Así cuando se active el sensor de nivel bajo, volver a inyectar agua fría al recipiente.

Al lograr la temperatura final del enfriamiento, la válvula de agua se cierra, la de drenaje y la de presión se siguen controlando, para facilitar la expulsión del agua.

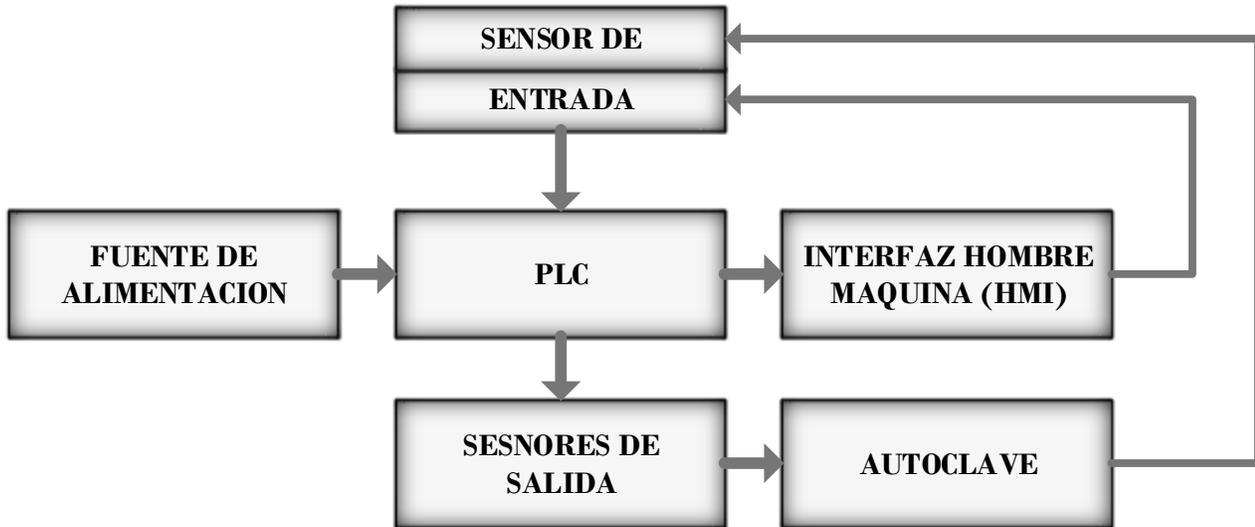
Figura 27
Etapas de control de proceso de esterilización
(Tiempo Vs. Presión y temperatura)



Fuente: Manual de usuario de autoclave TUTT NAUER

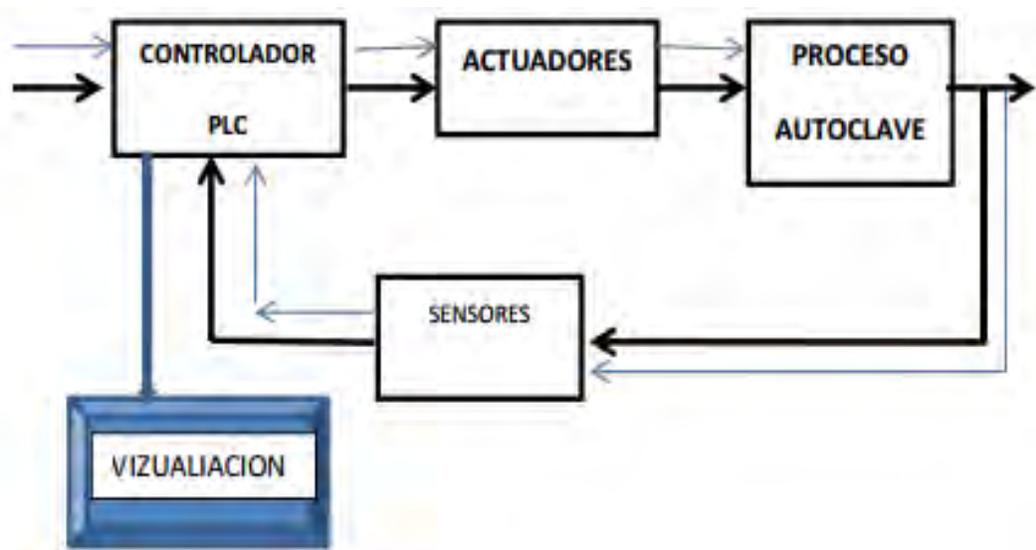
3.2 Diagrama de bloque

Figura 28
Sistema de control de la autoclave



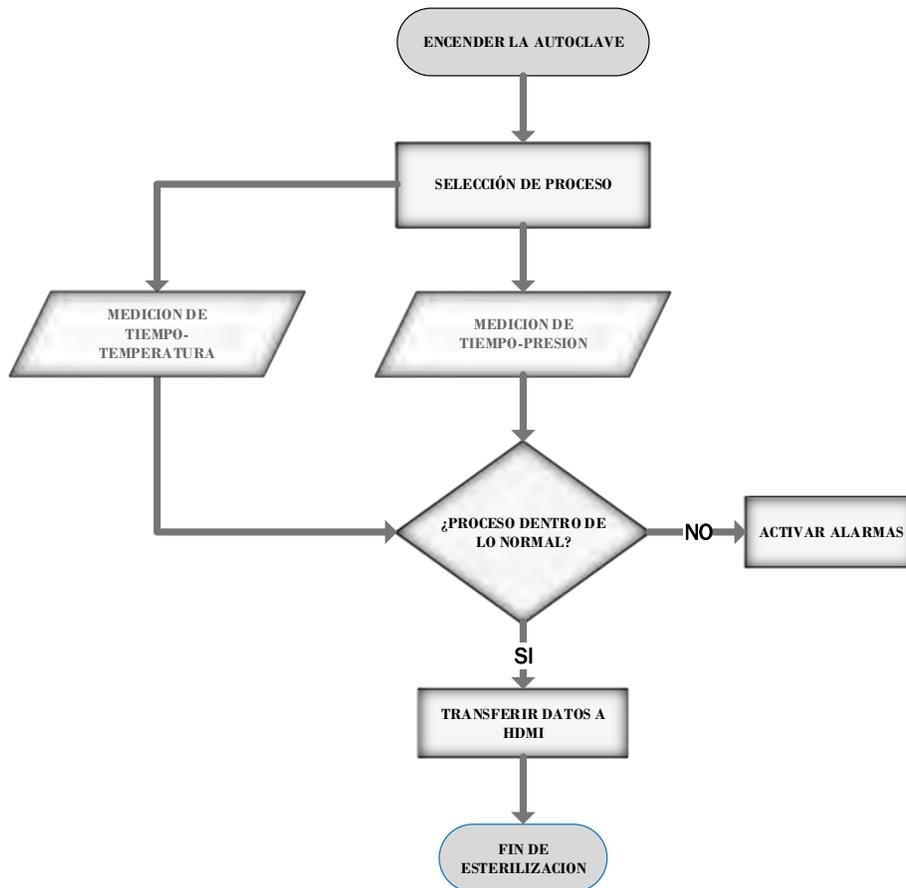
Fuente: Elaboración propia

Figura 29
Sistema de control de lazo cerrado de la autoclave



Fuente: Elaboración propia

Figura 30
Diagrama de flujo del proceso de esterilización



Fuente: Elaboración propia

3.3. Diseño del controlador PID

Asiste dos procedimientos fundamentales diferentes para obtener un control PID digital para un sistema continuo.

A. Procedimientos

- **El primer procedimiento** consiste en diseñar un compensador PID continuo para el sistema y a continuación digitalizar este compensador PID continuo para obtener el compensador PID digital. Este método consiste en calcular las constantes K_p , K_i , K_d del sistema continuo empleando cualquiera de los métodos de diseño y después sustituir los valores de estas constantes en la ecuación del compensador digital en continuo.

- **El segundo procedimiento** consiste en tomar la función de transferencia pulso del PID digital y obtener el equivalente digital del todo el sistema. A continuación se calculan los valores de las constantes K_p , K_i , K_d del compensador empleando cualquiera de los métodos de diseño en el plano Z.

El diseño del control PID Digital se desarrolló para que el sistema compensado verifique las siguientes condiciones:

- Máximo sobre impulso 20%
- Error en estado permanente ante una entrada escalón $e_{ss} = 0$
- Frecuencia de oscilación del sistema compensado $w_n = 3$

B. El diseño en continuo

El diseño del control PID consiste en calcular los valores de las ganancias K_p, K_i, K_d para que el sistema compensado cumplan las especificaciones solicitadas. Estas especificaciones se pueden verificar para diferentes combinaciones de ganancias del compensador PID, De todas ellas se deberá tomar la más sencilla posible, que será aquella en la cual el compensador PID tenga el menor número de términos

En el presente diseño se considera que el error en estado permanente sea nulo la cual implica que el controlador tenga un término integral por lo tanto se puede considera un diseño PI. Si con este diseño no se consigue realizar el control se deberá tomar un compensador que proporcione más grados de libertad ajustando el POD.

Luego se considera

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

Reduciendo el diagrama de bloques se obtiene la siguiente función de transferencia para el sistema de lazo cerrado

$$G_{LC}(s) = \frac{G_C(s) * G_P(s)}{1 + G_C(s) * G_P(s)} =$$

Donde el denominador de la función de transferencia anterior será la ecuación característica del sistema compensado

$$S^2 + (0.1K_p + 0.08971)s + (0.0016 + 0.1K_I) = 0$$

La ecuación característica deseada para el sistema en lazo cerrado se obtiene a partir de las especificaciones solicitadas para el sistema en lazo cerrado.

Se considera un máximo sobre impulso de 20% pero se observa que la función de transferencia del sistema compensado en lazo cerrado tiene un cero adicional por lo que el sistema será más rápido en respuesta y con mayor sobre impulso que el sistema tipo de segundo orden por lo que se puede considerar un menor sobre impulso por ejemplo de 17%.

$$MP = 100e^{\frac{-\pi\delta}{(1-\delta^2)^{0.5}}} = 17 \rightarrow \delta = 0.5$$

Entonces la ecuación característica deseada para el sistema en lazo cerrado será

$$s^2 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 = s^2 + 3s + 9$$

Igualando la ecuación características deseadas para el sistema en lazo cerrado a la ecuación característica que se obtenido previamente para el sistema compendiado y de esta igualdad calcularemos los valores de las ganancias del compensador:

$$S^2 + (0.1K_p + 0.08971)s + (0.0016 + 0.1K_I) = s^2 + 3s + 9$$

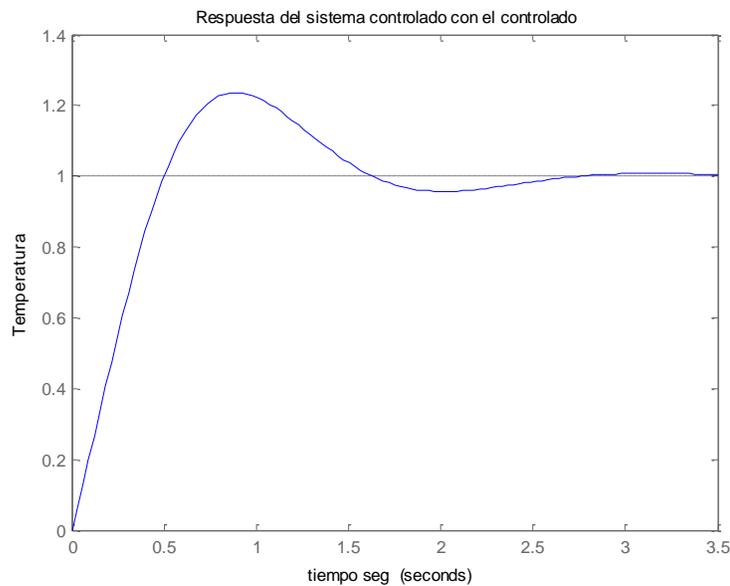
Luego se obtiene

$$K_p = 29.10 \quad K_I = 89.99$$

Mediante Matlab se puede realizar la simulación previa

```
Gps=tf([1],[1 1])  
Gc=tf([2 9.99],[1 0])  
GLCS=feedback(Gps*Gc,1)  
step(GLCS)  
title('Respuesta del sistema controlado con el controlado')  
xlabel('tiempo seg ')  
ylabel('Temperatura ')
```

Figura N° 31
Respuesta del sistema controlado



El sistema presenta un máximo sobre impulso en 21% algo adicional se puede considerar como aceptable y se tiene una respuesta con error cero.

3.4 Desarrollo

3.4.1 Asignación De Funciones

Como primera fase de ingeniería, se tiene el levantamiento de información en el cual se desea obtener el máximo de especificaciones del proceso a automatizar desde el punto de vista del cliente, así como ofrecer las posibles soluciones, implementar las opciones adecuadas al producto que se esté manejando. Posterior a conversaciones con el cliente, se

obtuvieron los siguientes requerimientos en cuanto a funcionalidad y operación del sistema:

- Control de acceso con clave al sistema de control
- Capacidad de seleccionar una lista de productos, para facilitar el proceso de Esterilización; con los puntos de consignas y tiempo de esterilización suministrados por el cliente
- Capacidades básicas visuales para representar el estado actual del sistema.
- Visualización en tiempo real de los principales parámetros del proceso en la pantalla del sistema. Obligatoria temperatura y presión en tiempo real.
- Capacidad de enfriamiento con alta presión para disminuir los tiempos de la etapa de enfriamiento.
- Utilización de accionamiento dual de botones y pulsadores, es decir, los principales botones a utilizarse en el PLC, deben ser replicados en pulsadores, los cuales van a ser ubicados en el tablero.
- Selector con llave, para evitar que los operadores desactiven un estado crítico en el sistema, sin que el supervisor de área tome las acciones correspondientes.

3.4.2 Equipos, instrumentos y sensores

Los equipos, instrumentos y sensores requeridos para la automatización de la máquina esterilizadora, son las siguientes:

- **Válvula variable, para el control regulatorio del suministro de vapor**

De tipo variable debido a que se desea controlar de manera precisa la temperatura del sistema durante la esterilización, a través de un control proporcional integral derivativo (PID). El vapor es la variable

que suministra calor al sistema, por lo tanto, solo con la regulación del mismo es posible controlar la temperatura y la inercia térmica dentro de la cámara de la autoclave.

- **Válvula variable, para el control regulatorio del venteo**

De tipo variable debido a que se desea controlar de manera precisa la presión de la autoclave durante la etapa de enfriamiento del sistema, esto a través de un control proporcional integral derivativo (PID). Durante la etapa de enfriamiento la presión se regula a través de la entrada de aire y de la salida del mismo a través del venteo. La válvula de venteo por su instalación física y mecánica posee mayor capacidad de descarga de presión, que la carga de presión de la línea de aire a través de válvula de entrada de aire, por lo tanto, el control regulatorio se va a efectuar sobre la válvula de venteo.

- **Válvula ON/OFF**, para el control de la entrada de aire

- **Válvula ON/OFF**, para el control del drenaje

- **Válvula ON/OFF**, para el control de la entrada de agua

- **Válvula Ckeck**, son utilizadas para no dejar regresar un fluido dentro de una línea. Esto implica que cuando las bombas son cerradas para algún mantenimiento o simplemente la gravedad hace su labor de regresar los fluidos hacia abajo, esta válvula se cierra instantáneamente dejando pasar solo el flujo que corre hacia la dirección correcta(Especialistas técnicos en fluidos de occidente SA, n.d.).

- **Válvula De Seguridad**, están diseñadas para aliviar la presión cuando un fluido supera un límite preestablecido (presión

de tarado). Su misión es evitar la explosión del sistema protegido o el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión.

- **Sensor de temperatura**, para el control y visualización de éste parámetro.
- **Sensor de presión**, para el control y visualización de éste parámetro.
- **Sensor de bajo nivel**, de tipo ON/OFF, para la detección del estado de nivel de agua.
- **Sensor de alto nivel**, de tipo ON/OFF para la detección del estado de nivel de agua.
- **Sensor de posición**, de tipo ON/OFF para detectar si la puerta de la autoclave se encuentra cerrada.
- **Trampa de Vapor Termostática**, son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire esto sin dejar escapar al vapor. El vapor es regularmente usado para calentamiento o como fuerza motriz para un poder mecánico.
- **Un (1) selector con llave**. Para evitar que los operadores desactiven un estado de parada de emergencia sin autorización del supervisor del área.
- **Un (1) selector**, para el encendido y apagado del tablero de control.
- **Manómetros y mano vacuómetro**, instrumento de medición.
- **Actuador**, es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad

de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control.

- **Bomba de vacío**, extrae moléculas de gas de un volumen sellado, para crear un vacío parcial, la particularidad, características es: no contaminantes debido a la compresión casi isotérmica libre de aceite, ya que ningún lubricante en la cámara de trabajo el manejo de casi todos los gases y vapores pequeñas cantidades de líquido arrastrado se pueden manejar fácil mantenimiento y operación bajo nivel de ruido y casi sin vibraciones amplia elección del material, por lo tanto, aplicable casi en todas partes(Proveedores industriales, n.d.).
- **Electroválvula**, es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal (Equipos de riego -Las Brujas de Talagante, n.d.).
- **Filtro de aire**. Un filtro de aire es un dispositivo que elimina partículas sólidas como por ejemplo polvo, polen y bacterias del aire. Los filtros de aire encuentran una utilidad allí donde la calidad del aire es de relevancia.
- **Disyuntor diferencial**.es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos.
- **Termocupla**: es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los mili voltios) que es función de la diferencia

de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y el otro llamado «punto frío» o «unión fría» o de «referencia»(Poliem pack, n.d.).

- **PLC (Controlador lógico Programable)** las definiciones se pueden apreciar en el marco teórico del presente trabajo.
- **Pantalla HMI Omron lcd**
- **Impresora térmica.**

3.4.3 Especificaciones técnicas para el control de instrumentos y sensores

A continuación se recopilan las especificaciones técnicas, de los equipos, instrumentos y sensores proporcionados por la empresa cliente:

- **Válvulas variables:** son controladas a través de una señal analógica de 4 a 20 mA, con lo cual se logra que la válvula aperture desde 0% hasta 100% respectivamente
- **Válvulas ON/OFF:** el control de estado entre abierta o cerrada es controlado a través de un relé que se activa con 110 voltios alternos (Vac); donde 0 Vac cierra la válvula y 110 Vac la abre totalmente
- **Sensores de temperatura:** señal de voltaje propia de un termocupla tipo J. debido a que resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. La ventaja fundamental de las termocuplas Tipo J es su bajo costo Para efectos de este trabajo se debe de considerar un rango de trabajo de las termocuplas que va desde los 24°C (temperatura interna antes al empezar la jornada de trabajo), hasta los 150°C (temperatura interna remanente luego de descargar el material quirúrgico).

Los rangos de temperatura aceptables

- Medio de medición, siempre T [° C] -40... 160
- Medio de medición, hasta 15 min -40... 180
- Ambiente T [° C] -40... 105
- Almacenamiento T [° C] -40... 105
- Rango compensado *T [° C] -20... 85
- Coeficiente de temperatura dentro de la gama compensada
- CT medio compensado % del rango de £ 0.15 / 10K
- CT medio rango % del rango de £ 0.15 / 10K
- Total de errores % del rango de -40 ° C 2,00%

Características principales

- Rangos de medición 0... 1 bar hasta 0... 2000 bar
 - Todas las señales estándar de la industria, hidráulica y neumática
 - Rango de temperatura de los medios de comunicación -40 ° C a 180 ° C
 - Rango de temperatura ambiente -40 ° C a 105 ° C
 - Choque y vibración resistentes > 1000 g shock, > 20 g de vibración
 - No hay medios de transmisión internas (totalmente soldada, célula de medida "en seco")
 - Grado de protección de IP65 (versión especial hasta IP69K)
 - Diseño compacto y robusto de acero inoxidable.
 - Clase de precisión 0,5%
-
- **Sensores de presión:** para la lectura de ésta variable se utiliza un transductor de presión con salida 4 a 20 mA, donde 4 mA representa 0 PSI y 20 mA 50 PSI.
 - **Transmisor de presión:** sirve para reducir la temperatura de forma escalonada antes que este llegó al sensor.

Figura N°32
Imágenes de sensor de presión



Fuente: Manual de DPF Sensores

El transmisor seleccionado para medir la presión dentro de la autoclave es el SKL de la marca DPF Sensores y sus características se muestran en la siguiente tabla.

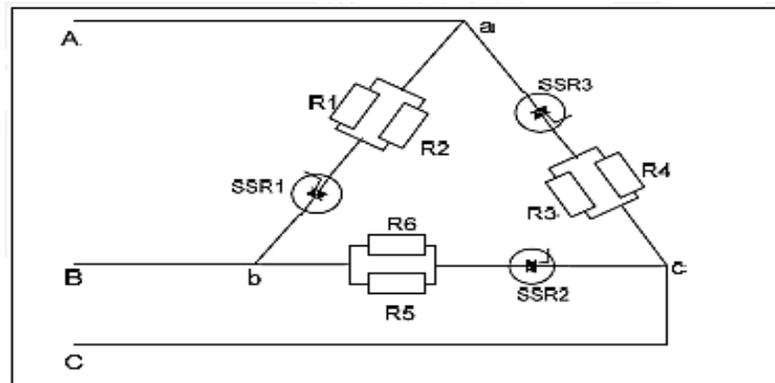
- **Sensores de tipo ON/OFF:** generan una señal de 24 V para indicar un estado de encendido (ON) y de 0 V para indicar un estado apagado (OFF). Configurados de tal forma que cuando generen un estado de encendido, es consecuencia de detectar lo que están censando, por ejemplo, nivel bajo, nivel alto o puerta cerrada.

- **Relés de Estado Sólido (SSR-Solid State Relay)**
Los relés de estado sólido se emplearán para el control de la intensidad de corriente que fluirá hacia las resistencias calefactoras. Al tener una intensidad de corriente de 20 amperios fluyendo a través de ellas, es necesario añadirle a sus bases un disipador de calor para que estas puedan trabajar adecuadamente.

Las resistencias calefactoras actualmente son controladas por contactores, a través de los cuales se conectan o desconectan las resistencias una vez alcanzada la temperatura deseada.

En el sistema automatizado que emplea un control PID, el uso de contactores no se adecua a este trabajo ya que se trabajará con señales moduladas las cuales malograrían los contactores, es por esto que se ha decidido emplear relés de estado sólido.

Figura N°33
Conexión Delta de Relés de Estado Sólido



Fuente: Lima (2008) Reyes Sánchez. Manual de controladores (p. 53)

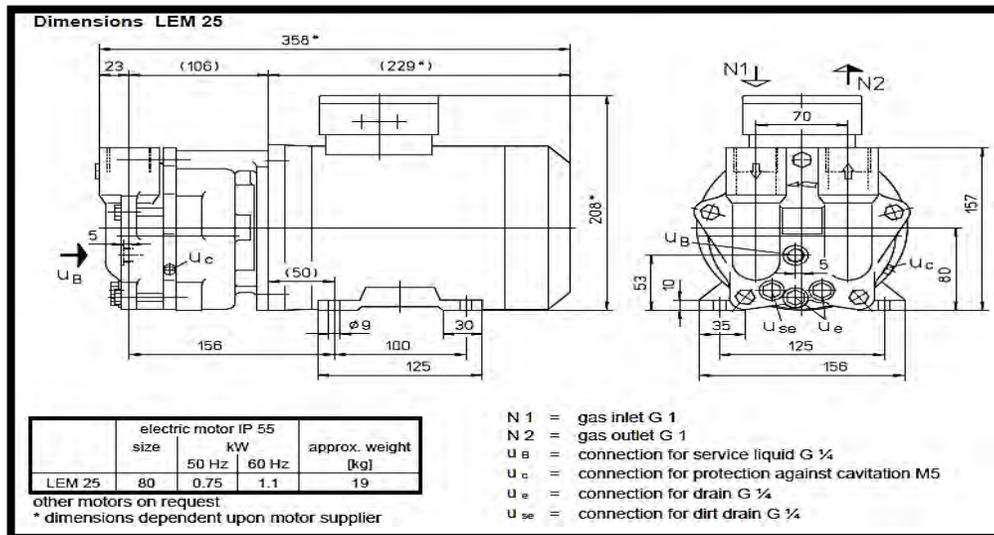
- **Luces piloto:** accionadas con 220 Vac.
- **Pulsadores:** se genera detección de pulsado, cuando el controlador detecta 24V en la entrada correspondiente
- **Selectores:** se detecta su accionamiento, cuando el controlador detecta 24 V en la entrada correspondiente
- **Bomba de vacío:** Manejo y extracción de gases secos y húmedos; líquido arrastrado pueden ser manejados durante el servicio normal. Las bombas se aplican en todo campos en los que una presión de 33 a 900 mbar debe ser creado por bombas de vacío robusta.

Tabla N°6
Especificaciones técnicas de la bomba de vacío

TIPO	MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA DE BAJA TENSIÓN
Grado de protección	IP55-totalmente cerrado y autoventilado
Sistema de ventilación	IC411 autoventilado
Carcasa	71 a 355 (según norma IEC)
Polos	3
Velocidad nominal	2800 rpm
Potencia nominal	5HP
Tensión nominal	220/240 Vac
Frecuencia nominal	50 O 60 Hz
Forma constructiva	IM 1001, B3 (con apoyos)
Clase de aislamiento / DT	F
Temperatura ambiente	80°C
Posición de la caja de conexiones	Parte superior
Dirección de rotación	Bidireccional

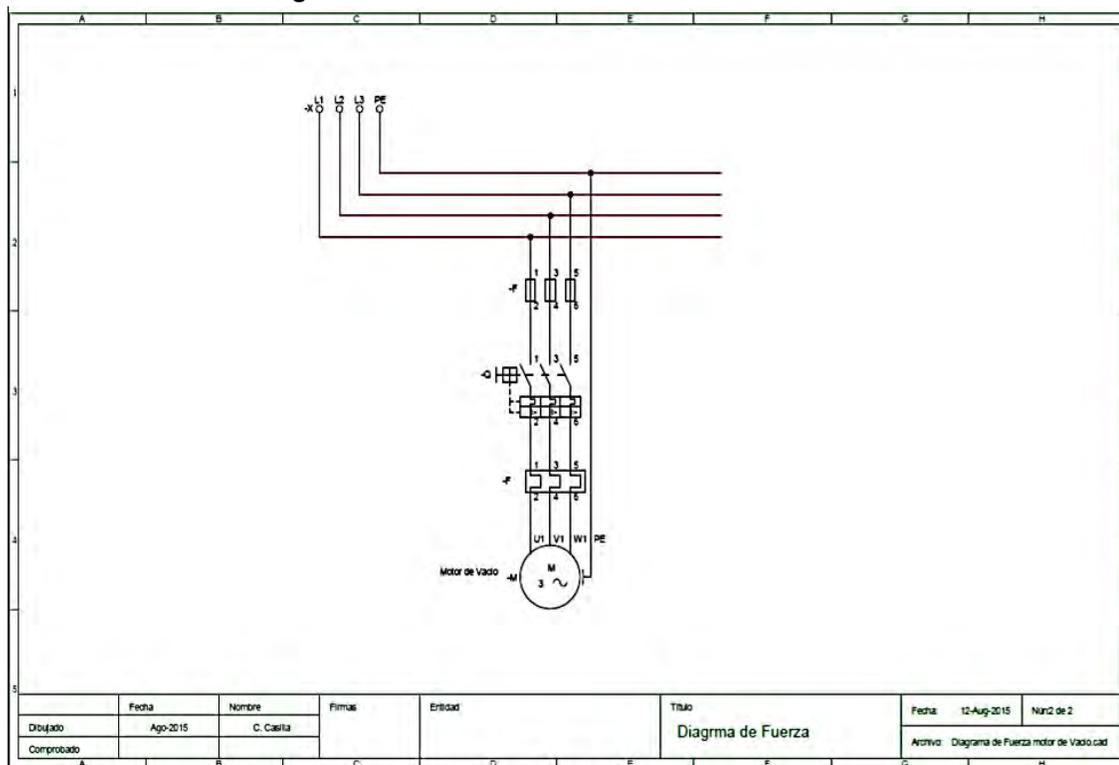
Fuente: Elaboración propia

Figura N°34
Diagrama de la bomba de vacío



Fuente: Elaboración propia

Figura N°35
Diagrama eléctrico de la bomba de vacío



Fuente: Elaboración propia

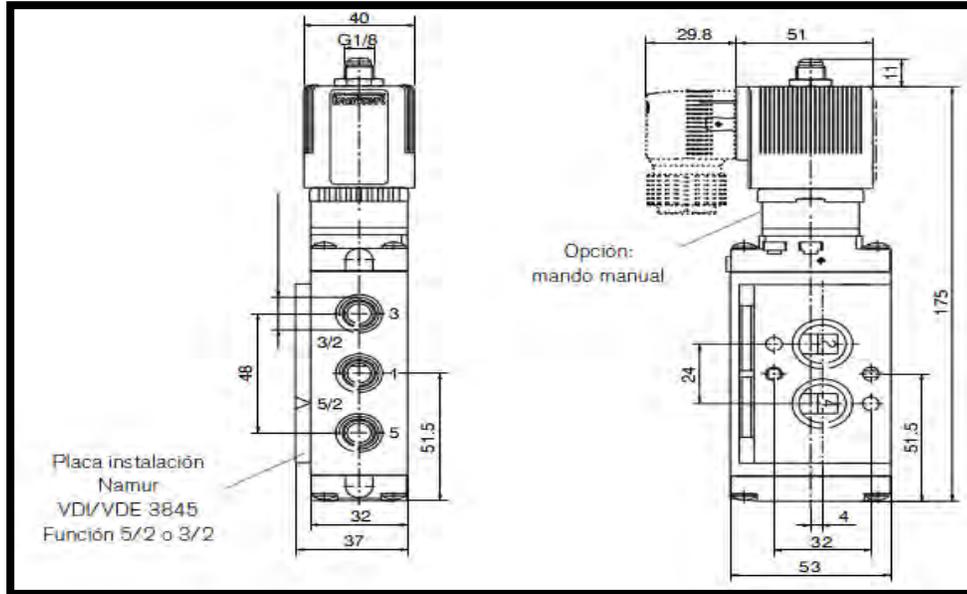
- **Válvula de solenoide para vapor:** Este modelo de electroválvula de pilotaje tiene una alta fiabilidad de funcionamiento. Se utiliza para el accionamiento de actuadores rotativos (válvulas de bola y de mariposa), de simple o doble efecto, y para actuadores de pistón o de membrana (válvulas de globo o de diafragma). Su bobina de muy baja intensidad permite su conexión a los nuevos sistemas de E/S de control distribuido que tienen el doble de canales de salida, con lo que reduce de forma muy importante los costes de los proyectos (Tabla 7).

Tabla N°7
Especificaciones técnicas de electroválvula

Características técnicas		
Diámetro	DN 6,0	
Materiales		
Cuerpo	Poliamida (reforzada con fibra de vidrio)	
Conexiones roscadas:	latón (inox bajo pedido)	
Juntas:	NBR y PUR	
Fluidos	Aire comprimido lubricado o sin lubricar, aire de instrumentación, nitrógeno	
Temperatura:		
-ambiente	-10 °C a +55 °C	
-fluido	-10 °C a +50 °C	
Tiempos de respuesta ⁽¹⁾	Apertura: 75 ms Cierre: 115 ms	
Conexiones		
Alimentación P y escapes	G1/4 (conexiones 1,3,5)	
Salidas	Namur (conexiones 2,4)	
Factor de funcionamiento	100% funcionamiento continuo	
Conexión eléctrica	Conector según DIN43650 forma A (atención a la polaridad)	
Protección	IP65 con conector	
Instalación ⁽²⁾	Electroválvula suministrada en función 5/2. Se suministra una placa adicional para conversión en función 3/2.	
Posición de montaje:	Indistinta, preferentemente con bobina hacia arriba.	
Características eléctricas:		
Características	Bobina Alta Impedancia a	
	+20 °C	+55 °C
Intensidad mín (conmutación) mA	23,3	23,3
Resistencia nominal de la bobina	481	565
Tensión mín V (bornes bobina)	11,2	13,2
Valor máx – UI (V)	28	
Valor máx – II (mA)	120	
Valor máx – PI (W)	1,1	
Valor máx – T amb (°C)	+80 (T6)	

Fuente: Manual de Burkert Fluid control Systems

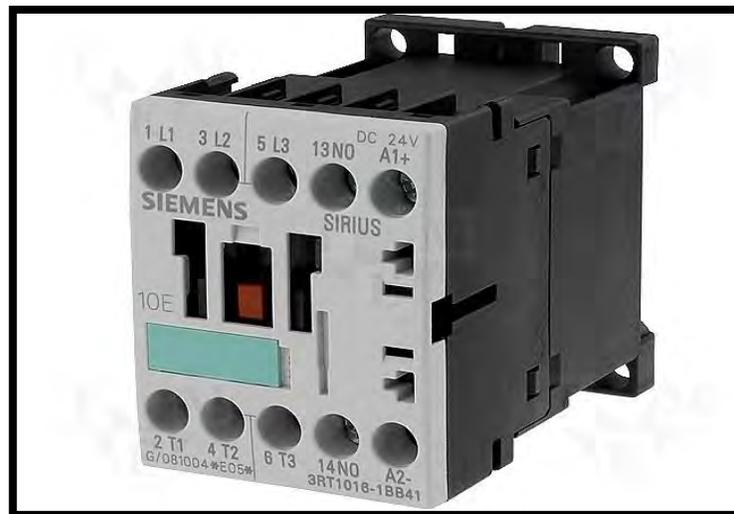
FIGURA N°36
Diagrama interno de la electroválvula



Fuente: Manual de Burkert Fluid control Systems

▪ **Contactador:**

FIGURA N°37
Diagrama del contactor



Fuente: Manual de Siemens

Tabla N°8
Especificaciones técnicas del contactor

TIPO	3RT1015
Ciclos de maniobra por hora temperatura ambiente $\leq 55\text{ }^{\circ}\text{C}$	3600
Tensión de la bobina	220 V
Tensión asignada de empleo	690 V
Separación segura entre bobina y contactos principales (según DIN VDE 0106, parte 101 y A1)	400 V
Potencia asignada de empleo en AC-3 220/240 V	2,2 kW
Corriente de servicio <ul style="list-style-type: none"> • Ie máx. AC-3 ($U_e \leq 440\text{ V}$) • Ie AC-1 ($\theta \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) 	9 A 25 A
Módulos antiparasitarios	Varistancia, diodo, circuito RC o diodo limitador de cresta bidireccional
Temperatura ambiente admisible	-5°C hasta +55°C en servicio, -60°C hasta +80°C en almacenamiento
Grado de protección según IEC 947-1 y DIN 40 050	IP 20, sistema de accionamiento IP 40

Fuente: Manual de Siemens

- **Controlador Lógico Programable:** PLC Omron CPM1A-20CDR-A-V1, posee una eficiencia y rendimiento en la práctica, automatizan decenas de miles de instalaciones en diversos sectores: La Industria petroquímica, automotriz, alimenticia, plásticos y textiles, energía y medio ambiente, gestión y tratamiento de aguas y de aguas residuales.

Figura N°38
PLC Omron



Fuente: Micro Programmable Controller CPM1A

Tabla N°9
Especificaciones técnicas del controlador programable

Input type		DC input			
CPU type		10-point I/O	20-point I/O	30-point I/O	40-point I/O
Control method		Stored program method			
I/O control method		Combination of the cyclic scan and immediate refresh processing methods.			
Programming language		Ladder diagram			
Instruction word		1 step per instruction, 1 to 5 words per instruction			
Types of instructions	Basic instructions	14 types			
	Special instructions	79 types, 139 instructions			
Instruction execution time	Basic instructions	0.72 to 16.2 μ s			
	Special instructions	MOV instruction = 16.3 μ s			
Program capacity		2,048 words			
User data memory		1,024 words			
Maximum I/O points	CPU only	10 points (6 input/ 4 output points)	20 points (12 input/ 8 output points)	30 points (18 input/ 12 output points)	40 points (24 input/ 16 output points)
	With Expansion I/O Module	—	—	Up to 90 points (54 input/ 36 output points)	Up to 100 points (60 input/ 40 output points)
Memory protection		Maintains the contents of the HR, AR, Counter and Data Memory Areas.			
Memory backup		Flash memory: User program, data memory (Read only) and PLC setup area are backed up without a battery. Super capacitor: Data memory (Read/Write), holding bits, auxiliary memory bits, counter values, error log area are backed up by a capacitor for 20-days at an ambient temperature of 25°C.			
Self-diagnostic function		CPU error (watchdog timer), memory errors, I/O bus errors			

Fuente: Micro Programmable Controller CPM1A

- **Display HMI Pantalla Táctil, Omron LDC**

Figura N°39
Display HMI Pantalla Táctil



Fuente: Shneider electric

Tabla N°10
Especificaciones técnicas del Display HMI

 Color del Display	Monocromo
Longitud	190mm
Memoria Integrada	512 Kb
Profundidad	53.5mm
Resolución del Display	260 x 140pixels
Retroiluminación	Sí
Serie del Fabricante	NT21
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+50°C
Temperatura de Funcionamiento Mínima	0°C
Tensión de Alimentación	24 Vdc
Tipo de Display	LCD
Tipo de Puerto	RS232

Fuente: Shneider electric

- **Definición del número de entradas**

Antes de poder elegir el controlador es necesario saber el número de entradas y salidas que se requieren para realizar la automatización de la autoclave.

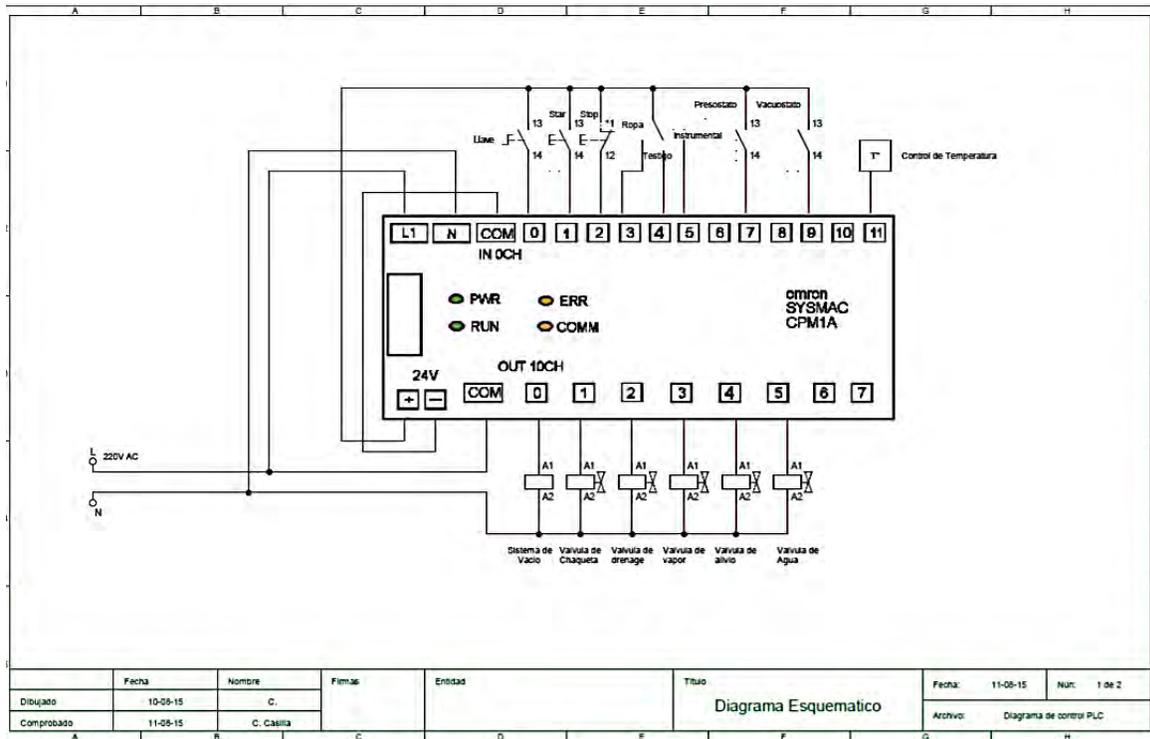
Tomando en cuenta la cantidad de entradas y salidas necesarias para la automatización, basados en la Tabla 15, y el algoritmo de control que se desea emplear; se procedió a elegir el controlador óptimo para este trabajo, el cual es PLC Omron CPM1A-20CDR-A-V1.

Tabla N° 11
Asignación de entradas y salidas

Descripción de E/S	Tipo de canal
Switch para puerta	Entrada digital
Pulsador de emergencia	Entrada digital
Selector (Automático / manual)	Entrada digital
Pulsador de inicio	Entrada digital
Pulsador para apagar alarma	Entrada digital
Conmutador de dos estados Válvula de entrada (manual)	Entrada digital
Conmutador de dos estados Válvula de salida (manual)	Entrada digital
Sirena	Salida Relé
Alarma	Salida Relé
Sensor de presión	Entrada analógica
Termocupla tipo J	Entrada analógica
Termocupla tipo J	Entrada analógica

Fuente: Elaboración propia

Figura 40
Diagrama esquemático del control lógico programable (PLC)



Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Elección del ciclo en función del material

El ciclo de esterilización depende del tipo de material.

Tabla N°12
Tiempo de esterilización del material

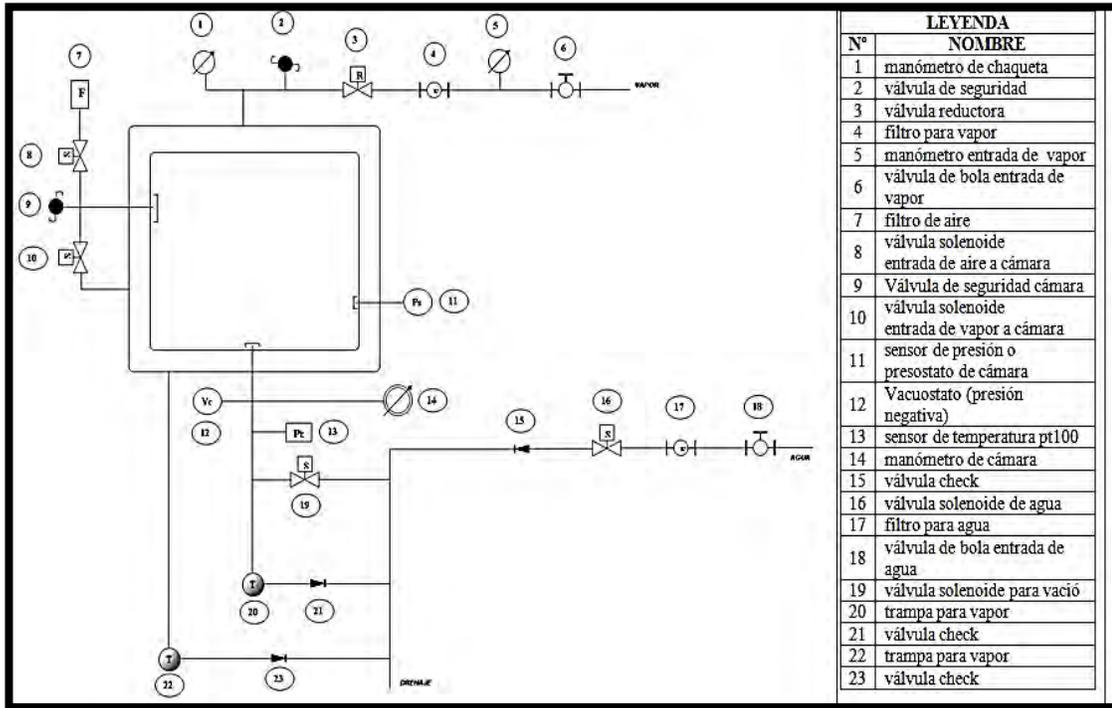
MATERIALES	CICLO	°C	MIN.	TIPO DE EMBALAJE
Tejidos, materiales porosos en general,				contenedores, bolsas,
Vidrios vacíos y todos y cualquier material a prueba de temperatura.	TEJIDOS	134C°	5	cestos y papeles
Guantes, catéteres, artículos de goma en general.	SUPERFICIE	121C°	5	contenedores, bolsas, cestos y papeles
Instrumentos quirúrgicos, vidrios vacíos u otros.	INTRUMENTAL	134C°	5	contenedores, bolsas, cestos y papeles
Prueba de penetración de vapor – Bowie & Dick.	B&D	134C°	10	Embalaje especial
Prueba de perdida de vacío	PRUEBA VACIO			
Ciclo abierto (20 ciclos disponibles.)	CICLO ABIERTO			

Fuente: Manual de esterilización y desinfección Ministerio de salud (p. 80)

3.4.5 Diagrama de sistema electromecánico de autoclave

En la figura 46 se aprecia la instalación de la autoclave con sus accesorios.

Figura N° 41
Sistema electromecánico de autoclave



Fuente: Elaboración propia

3.5 Aplicación

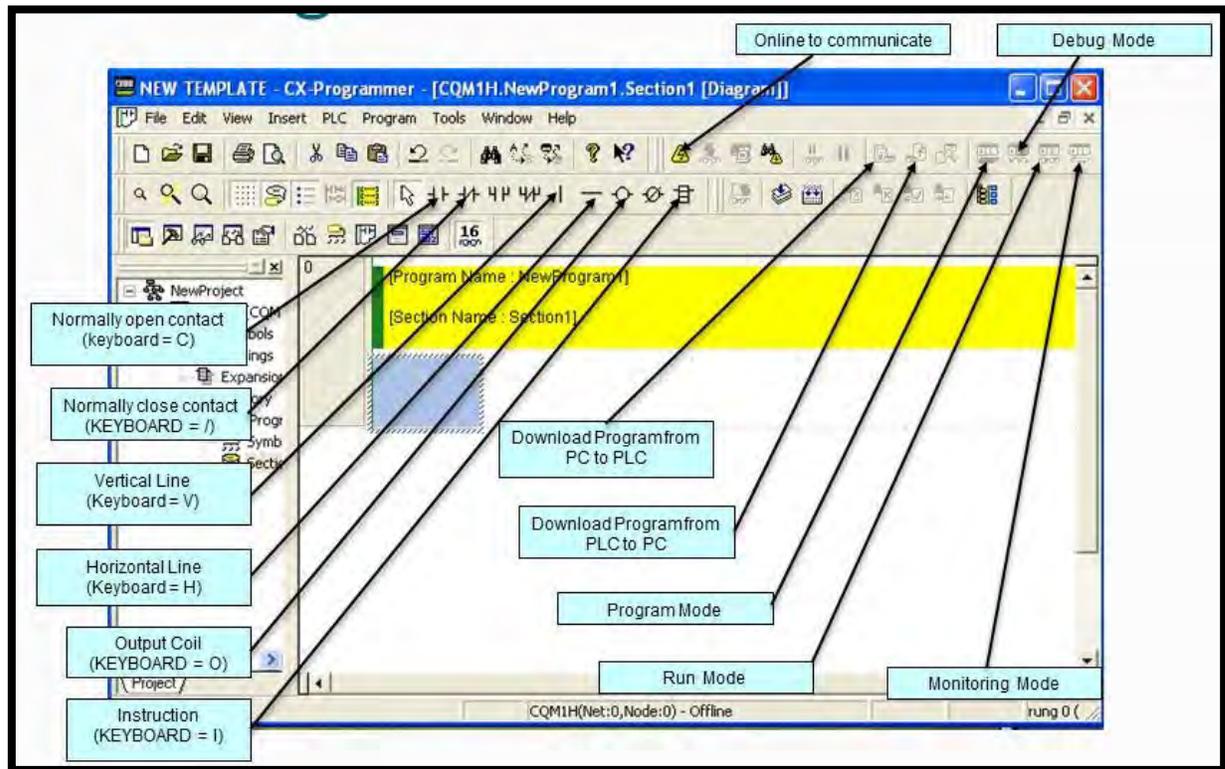
3.5.1 Programación del PLC

Se procederá a programar el PLC con el software CX – PROGRAMMER. La conexión con el PLC se hace automáticamente con la función On Line automático, busca la comunicación variando algunos parámetros y cuando la encuentra te da la opción de recuperar el programa almacenado en el PLC (Anexo 2,3, 4 y 5).

A. Área de programación del PLC

En la figura se observan todas las funciones para configurar y programar. En primer lugar están los símbolos generales del proyecto, un bit siempre a ON (P-On), otro siempre a OFF (P-Off), bits de resultados de comparación (P – EQ, P- GT, P – LT), indicador de primer ciclo (P- First – Cycle), bits de pulsos, etc.

Figura N°42
Ventana de programación de PLC(a)

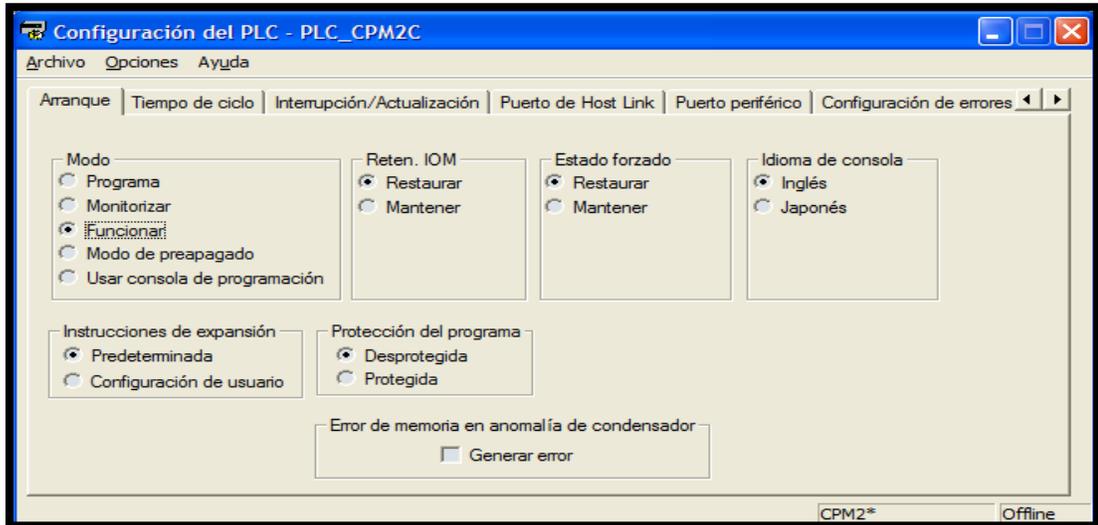


Fuente: CX-PROGRAMMER, Manual de Operación Omron, pg.25

En la figura 46, se muestra las secciones de la configuración del PLC. Aquí se configura el modo de arranque del PLC, se fija el tiempo de vigilancia de ciclo.

PLC Omron CPM1A-20CDR-A, Es un autómata que lleva integradas 12 entradas y 8 salidas digitales.

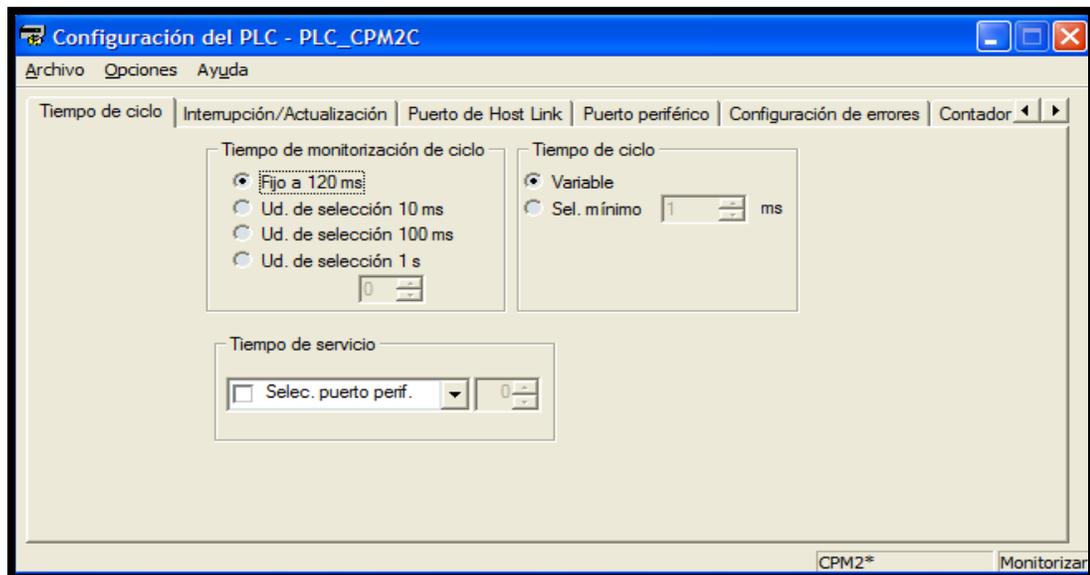
Figura 43
Área de configuración del PLC (a)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 48, se observa la zona de programación, que se divide en secciones donde se agrupa el código. Se introduce contactos, bobinas, bloques y parámetros de cada símbolo que se está creando.

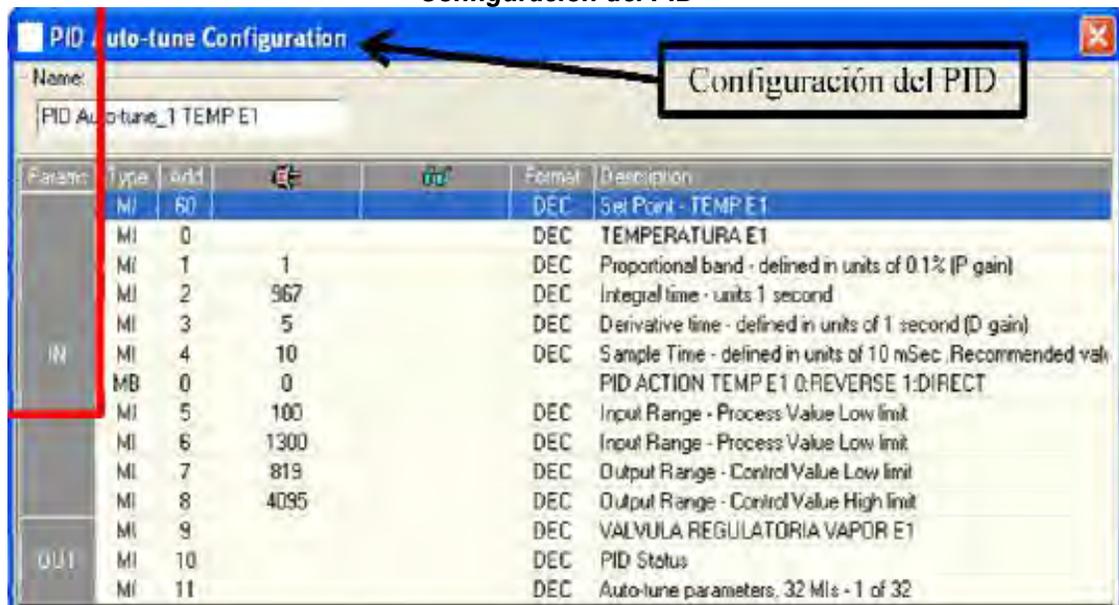
Figura 44
Área de configuración del PLC (b)



Fuente: Elaboración propia

Figura 45

Configuración del PID



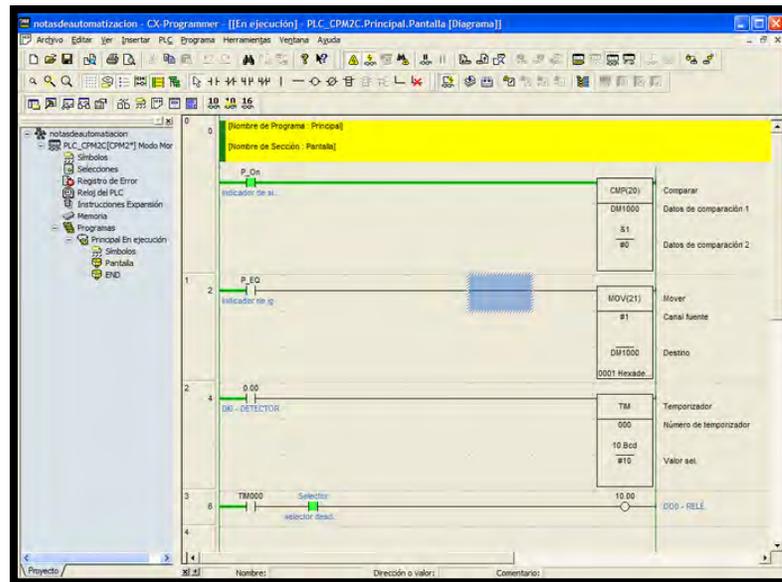
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°50 se observa la configuración de un bloque PID para el control de temperatura, a través del AUTO – TUNE (Propio controlador del PLC) el cual ajustará automáticamente los parámetros del PID, tiempo, integral, tiempo derivativo, tiempo de muestra.

3.5.2 Selección del HMI

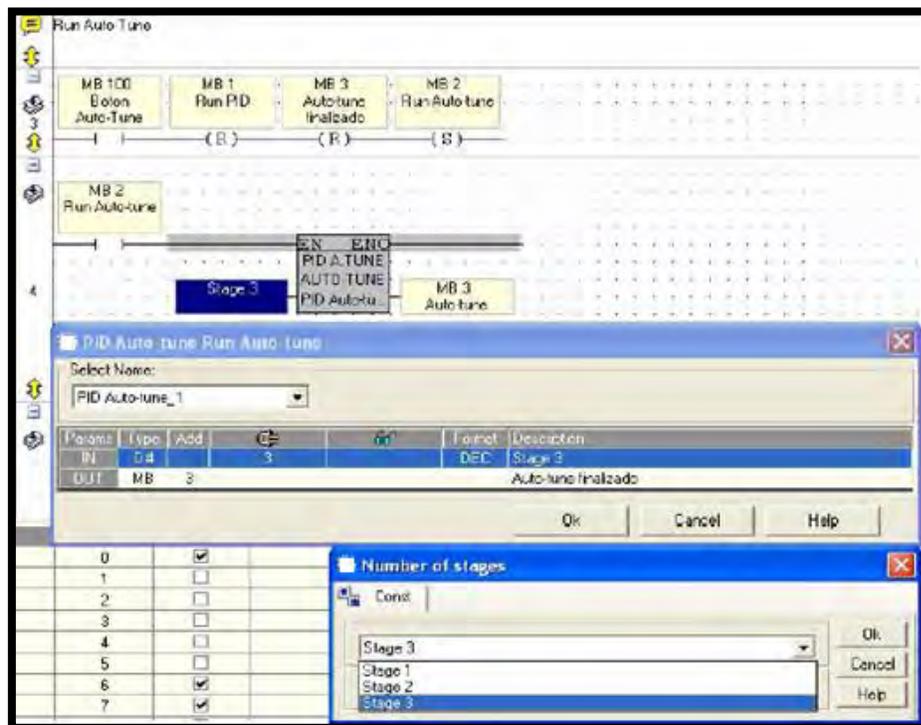
Como se utilizó el PLC marca Omron CPM1A-20CDR-A_V1 para el controlador, se elige una pantalla de operación de la misma marca ya que los protocolos de comunicación y la programación de variables entre PLC y panel de operación son más claros y fáciles de programar.

Figura N° 46
Zona de programación de PLC



Fuente: Elaboración propia

Figura N°47
Área de configuración del PID



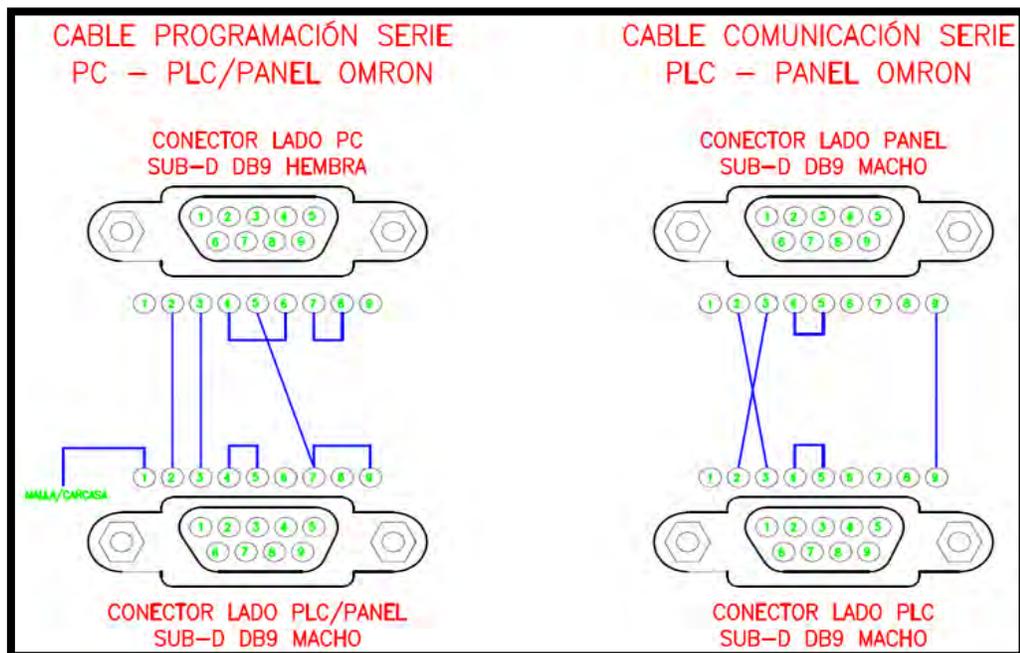
Fuente: Elaboración propia

En la autoclave se instaló un panel de operación táctil marca Omron, referencia NT 21 – ST- 121- E. Es un panel compacto (190x110x 53.5mm), monocromático, con un área de visualización de 117 mm x63 mm, tiene una resolución de 260 x 140 puntos.

En esta pantalla se realizó la programación de alarmas, botones, monitoreo de variable, como presión, tiempo, temperatura, programación de recetas según productos a procesar. Se definieron niveles de operación y monitoreo directo se entradas y salidas del PLC. El panel HMI tiene dos puertos A y B. El Puerto 'A' se usara para programar y el Puerto 'B' para comunicar con el PLC; según el Manual de operación del Panel HMI. Para lo cual se necesita dos cables serial; uno para comunicar el PLC con el Panel y otro que me servirá para programar desde mi PC portátil tanto el PLC como el panel. El software para el panel es NT – series Suport Tool v4.8

Pasos para la pantalla de configuración HDMI

Figura N°48
Diagrama de los conectores



Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Pasos para configurar la pantalla HMI

1. Se ejecuta el software NTST (NT – series support tool)
2. Iniciar la configuración del panel. Para lo cual se indica el modelo, en nuestro caso NT 21
3. Se ingresa a Control /Notify área. Aquí es donde especificamos las áreas de memoria del PLC que nos van servir para controlar el panel. Ver figura 54.
 - PT status control área, le he asignado el área de memoria DM01000 y ocupa 5 words.
 - PT status notify área, área de memoria DM01010 y ocupa 2 words
 - Windows control área, área de memoria DM01020 y ocupa 9 words

En nuestro caso, se usará el primer Word del PT control área (DM01000) porque se puede almacenar el número de pantalla activa en el panel, y pudo forzar la pantalla que desee el PLC cambiando su valor.

4. Configurar para transferir el proyecto al panel, lo primero es (A parte de conectar el cable de programación al puerto A del panel y a la PLC). Se debe poner el panel en modo transferencia, para ello pulsaremos simultáneamente en dos esquinas opuestas de la pantalla táctil, luego cruzaremos sobre “transmit mode” y luego sobre “Tool transmit”.
5. Se da orden de transmitir desde el NTST (NT – series support tool) y veremos el estado de la transferencia en el panel, al finalizar se tiene la pantalla lista para usarse.

3.6 Monitoreo.

Monitorear el proceso requiere etapas, estas son:

- Calificación operacional en el momento de la instalación
- Control rutinario del equipamiento (revalidación y calibraciones
- Validación de la función del equipamiento luego de los arreglos, reformas y grandes cambios en el tipo de carga y/o embalajes.

Todos los procedimientos ejecutados, como también las condiciones de los ciclos, disposición de las cargas tipos de artículos y embalajes, deben formar parte del informe.

El control rutinario de las cargas y de los esterilizadores es de vital importancia para la calidad del procesamiento.

3.6.1 Validación de los procesos de instalación

Validar es constatar con experiencias prácticas y registradas si un proceso de esterilización cumple su real objetivo.

Se debe realizar la validación en diferentes situaciones:

- En la instalación de la autoclave
- En las modificaciones significativas del tipo de carga y/o embalaje
- Luego del movimiento de la autoclave de su posición original

En la instalación de la autoclave, la validación deberá ser hecha antes de la entrada en operación del equipamiento. En esta fase la evaluación será hecha por la verificación de las condiciones del equipamiento, verificación de la temperatura, presión, o sea, las condiciones mecánicas del equipamiento.

Enseguida las pruebas con indicadores químicos y biológicos, realizados por el responsable de la Central de Esterilización, en las diferentes situaciones, para que sean establecidos los criterios en la autoclave deberán ocurrir en la validación.

a. Calificación de la Autoclave

Antes de ser introducido en uso rutinario, debe ser evaluado el correcto funcionamiento del equipamiento.

b. Calificación de la Instalación

Debe ser evaluada la correcta instalación de todas las partes, calibrado de todos los instrumentos de medición y conformidad con las especificaciones de la autoclave a ser demostradas y certificadas.

c. Calificación de Operación

Para un dado tipo de carga, la condicione de confiabilidad del equipamiento debe ser demostrada en al menos tres ciclos consecutivos, para autoclaves, deben ser hechos estudios de distribución del calor en posiciones adecuadas considerando la cámara y la carga.

El número y posición de los termopares son determinador por el tipo y configuración de la carga, como también por el tipo de instrumento y de ciclo empleados. Indicadores biológicos distribuidos en la carga deben ser usados para verificar condiciones esterilizantes en todas las posiciones.

3.6.2 Validación de las cargas

Para cada producto a ser esterilizado, debe haber cuidadosas consideraciones en cuanto a la educación del método de esterilización propuesto. En los procesos de alta temperatura, es necesario confirmar que todas las partes del material de acondicionamiento sean igualmente resistentes al proceso de autoclavado y que la estabilidad del producto no sea perjudicada.

Además de procederse a la adecuación del proceso, durante el desarrollo del ciclo deben ser incluidos estudios de inactivación de los bio indicadores en el propio producto, dilucidando posibles interferencias.

3.6.3 Código (clave) del operador.

Para el gerenciamiento de la autoclave fueron previstos veinte diferentes operadores; para cada uno de ellos es ingresando un código (clave). Es posible determinar para cada operador un nivel de acceso a las funciones de la autoclave, que varían entre 1 y 9.

3.6.4 Alarmas

Las alarmas que pueden interferir en el trabajo del ciclo serán mostradas e impresas. *El touch screen* indica la fase y el tipo de alarma activada y será posible apagarla solamente vía código. Para algunos tipos de alarmas será necesaria una intervención por parte del personal técnico, antes de ser apagada. La lista a seguir indica el tipo de alarma.

3.7 Resultados

Se realizaron dos pruebas al sistema para verificar la funcionalidad y eficiencia. Se esperaba que los parámetros a medir, temperatura, presión y tiempo; se encuentren dentro del rango necesario para eliminar los agentes patógenos más resistentes.

3.7.1 Prueba de funcionamiento del equipo (Test Bowie Dick)

Se procede con la limpieza de la cámara. Paso siguiente se introduce el test y se programa una prueba. Los resultados se muestran en la tabla 13.

Tabla 13
Resultados de la prueba de Bowie Dick

Tiempo	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
7:46:05	59	0.00
07:47:05	66	0.00
07:48:05	67	0.40
07:49:05	72	0.75
07:50:05	75	2.10
07:51:05	74	1.50
07:52:05	72	0.50
07:53:05	84	2.50
07:54:05	76	2.40
07:55:05	90	5.35
07:56:05	134	225.00
07:57:05	135	225.00
07:58:05	136	225.00
07:59:05	136	225.00
08:00:05	135	225.00
08:01:05	113	-1.45
08:02:05	98	0.00
08:03:05	96	0.00
08:04:05	93	0.00
08:05:05	91	0.00
08:06:05	89	0.00
08:07:05	87	0.00

De la tabla 13 se obtienen dos gráficas, temperatura versus tiempo (Fig. 53) y presión versus tiempo (Fig. 54). Superponiéndolas se observa que las condiciones son extremas durante más de 5 min.

Figura N°49
Relación de la temperatura con respecto al tiempo en el Test de Bowie Dick en la central de esterilización del HNCH. San Martín de Porres, 2014

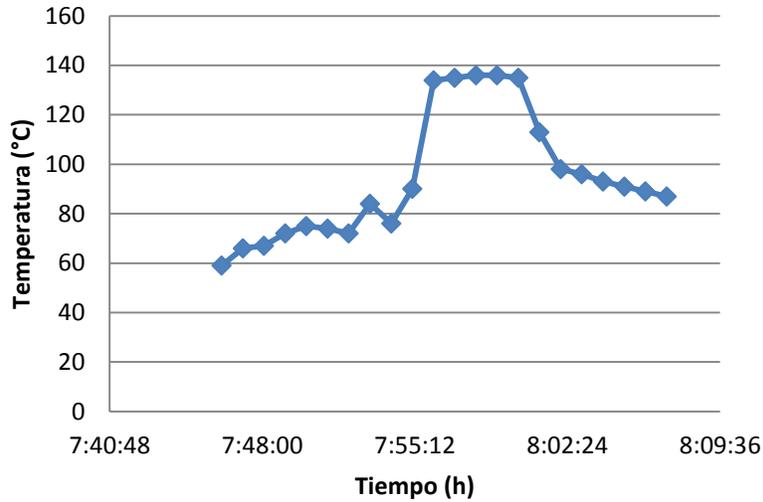
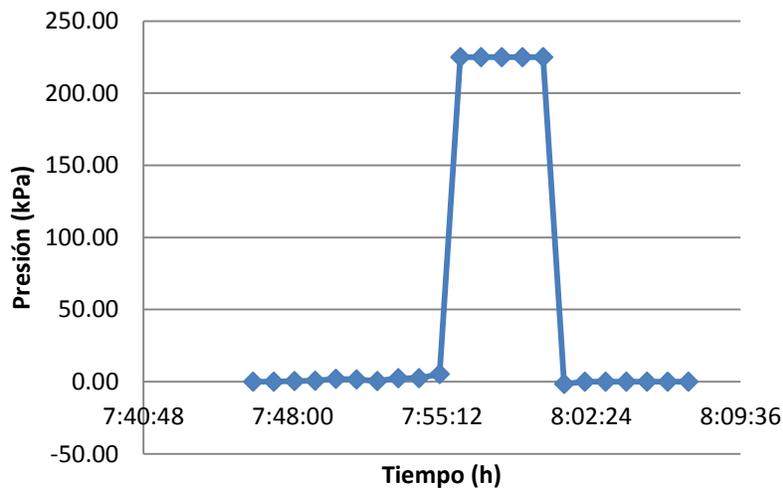


Figura N°50
Relación de la presión con respecto al tiempo en el Test de Bowie Dick en la central de esterilización del HNCH. San Martín de Porres, 2014



El proceso se validó con el test de Bowie Dick tal y como se puede apreciar en la figura N° 55 que muestra el cambio de color de amarillo a negro, lo que indica que la prueba ha sido satisfactoria, confirmando el adecuado funcionamiento del equipo.

Figura N° 51
Validación de proceso con el test de Bowie Dick

Antes

Después



3.7.2 Proceso de esterilización completo

Se procede con la limpieza de la cámara. Paso siguiente se introduce el material a esterilizar y se programa una esterilización completa. Los resultados se muestran en la tabla 13.

El promedio de datos identificado en el estudio fue de 107,161°C para temperatura, 26,77 PSI de presión de vapor y 23 min. de tiempo. El dato máximo de temperatura que se alcanzó en la implementación de la autoclave fue de 135°C en un periodo de 13 minutos de la etapa de esterilización.

Tabla N°14
Resultados del proceso de esterilización completo

Tiempo	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
10:22:00	70	0.00
10:24:00	76	-0.80
10:26:00	90	-0.50
10:28:00	80	-2.15
10:30:00	90	2.30
10:32:00	103	75.00
10:34:00	123	227.50

10:36:00	126	225.00
10:38:00	131	198.00
10:40:00	134	225.00
10:42:00	134	225.00
10:44:00	134	198.50
10:46:00	135	203.00
10:48:00	136	200.50
10:50:00	129	200.50
10:52:00	124	200.50
10:54:00	135	225.00
10:56:00	94	-1.20
10:58:00	90	-0.80
11:00:00	90	-0.80
11:02:00	90	0.00
11:04:00	90	0.00
11:06:00	90	0.00
11:08:00	88	0.00

De la tabla 14 se obtienen dos gráficas, temperatura versus tiempo (Fig. 56) y presión versus tiempo (Fig. 57). Superponiéndolas se observa que las condiciones son extremas durante más de 10 min.

Figura N°52
Relación de la temperatura con respecto al tiempo en un proceso automático de la autoclave en la central de esterilización del HNCH.
San Martín de Porres, 2014

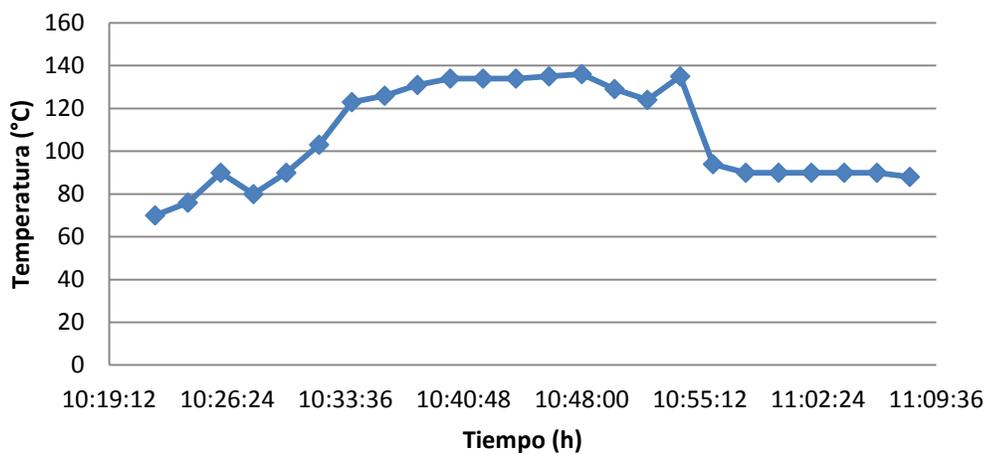


Figura N°53
Relación de la presión con respecto al tiempo en un proceso automático de la autoclave
en la central de esterilización del HNCH.
San Martín de Porres, 2014

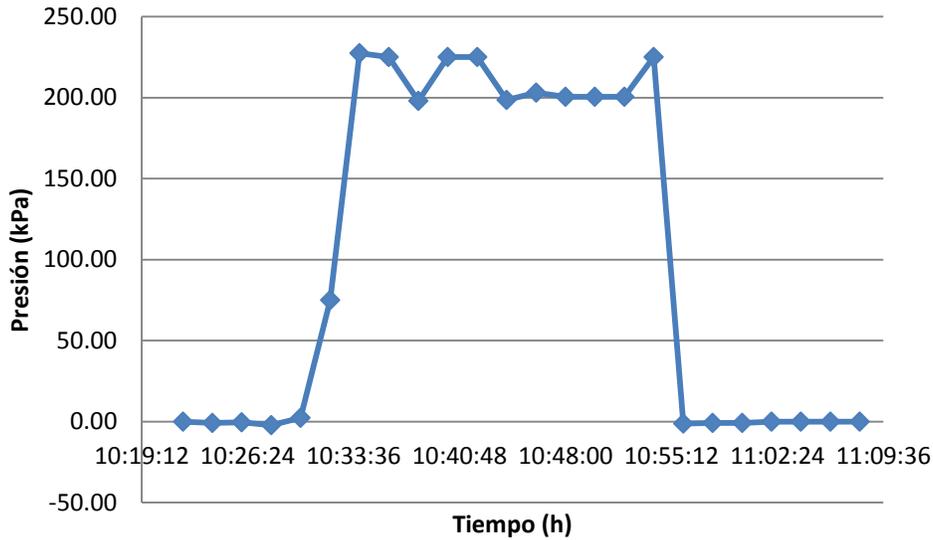


Figura N°54
Correlaciones entre variables tiempo, presión y temperatura en un proceso automático
de la autoclave en la central de esterilización del HNCH.
San Martín de Porres, 2014

		TIEMPO Min	TEMPERATURA °C	Presión PSI
TIEMPO	Correlación de Pearson	1	,249*	-,145
	Sig. (bilateral)		,016	,167
	N	93	93	93
TEMPERATURA	Correlación de Pearson	,249*	1	,827**
	Sig. (bilateral)	,016		,000
	N	93	93	93
Presión	Correlación de Pearson	-,145	,827**	1
	Sig. (bilateral)	,167	,000	
	N	93	93	93

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

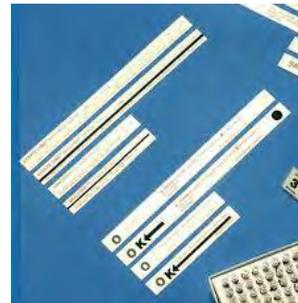
** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Acorde a la figura N° 59, se puede afirmar que existe correlación entre la temperatura y la presión pues en la correlación de Pearson se obtiene $p \leq 0.05$.

Así mismo a los 134 °C, la presión mínima que se obtuvo fue de 37.7 y la máxima fue de 42.34 PSI de presión de vapor.

El proceso de esterilización se validó con el controlador biológico y químico (Figura 60) a través del registro en la etiqueta indicadora, los cuales dieron negativo para carga microbiana.

Figura N° 55
Validación de proceso de esterilización por medio de controlador biológico y químico



3.8 Mantenimiento

La autoclave es un equipo que demanda supervisión y mantenimiento preventivo permanente, debido a la gran cantidad de componentes y tecnologías que lo integran. Se enfoca el mantenimiento hacia aquellas rutinas básicas que pueden realizar los operadores del equipo. Este proceso se detalla en la tabla N°15.

Tabla 15
Cronograma de Mantenimiento

MANT. DIARIO	MANT. SEMESTRAL	MANT. ANUAL
Asegurar que las válvulas de suministro de agua fría, aire comprimido y vapor estén abiertas.	Verificar el funcionamiento perfecto de los dispositivos de monitoreo, control y comando.	Comprobar y ajustar el nivel del tanque de alimentación de agua, para que se encuentre dentro de los 20 mm del máximo nivel.
Verificar que la presión de la línea de suministro de vapor sea de al menos 2,5 bar	Verificar y limpiar los filtros tipo Y.	Desmontar, limpiar y ajustar las válvulas de seguridad.
	Verificar la instalación eléctrica con sus relativas conexiones	Verificar que el funcionamiento se encuentre dentro de las tolerancias definidas por el fabricante.
Comprobar el estado de los manómetros y de los termómetros	Verificar y lubricar, cuando sea necesario, las piezas móviles.	Verificar y ajustar la tensión de los resortes de las válvulas de diafragma.
Controlar que no se presenten fugas de vapor en ninguno de los sistemas que operan en la autoclave	Verificación, limpieza y lubricación de los empaques de las puertas.	Efectuar un proceso general de esterilización comprobando presión, temperatura, tiempos requeridos para completar cada fase del ciclo.
	Verificación del posicionamiento de los sensores de los cilindros de las puertas	
	Verificación y reajuste, de la fijación mecánica de los componentes de la cámara.	
	Verificación de la vida útil del filtro de aireación y del empaque.	

Así mismo existe la necesidad de considerar las horas estimadas de uso para el mantenimiento de cada componente de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes.

Tabla N°16
Tiempo estimado de uso para mantenimiento de componentes de la autoclave

COMPONENTE	TIEMPO RECOMENDADO	ACTIVIDAD
Filtro de aire bacteriológico	4320 horas o 6 meses	Substitución
Filtros de descarga de la cámara	1440 horas o 6 meses	Limpieza de filtro. Eventual substitución.
Válvulas de seguridad	2160 horas o 6 meses	Accionar manualmente y revisión visual.
Válvulas de retención	1440 horas o 6 meses	Prueba de vacío.
Válvulas neumáticas	4320 horas o 6 meses	Verificación, a través del accionado vía touch screen.
Bomba de vacío	4320 horas o 6 meses	Verificar valores de configuración, velocidad de vacío, ruidos, etc.
Bloque de seguridad de las puertas	2160 horas o 6 meses	Verificación visual en el accionado.
Empaque de las puertas	720 horas o 1 mes	Verificación de la integridad física. Operario equipo.
Generador	4320 horas o 6 meses	Verificar integridad de los sensores de nivel.
Compresor de aire (opcional)	720 horas o 6 meses	Verificar sistema neumático, reguladores de presión y actuar válvula de alivio.

3.9 Observaciones y discusiones

En el capítulo 2 se abordaron aspectos teóricos que nos conducen a las condiciones que garantizan una buena esterilización, en resumen, una temperatura entre 121 °C y 134 °C, con una presión mayor a 200 kPa.

Podemos apreciar que en la ejecución del **ciclo completo**, la presión y la temperatura aumentaron en el mismo orden de tiempo, superando por 20 minutos los 121 °C, también se observa que en ese mismo tiempo la presión superó los 200 kPa salvo por una excepción (198.5 kPa) que se encuentra dentro del rango de tolerancia del sensor, por lo que puede tomarse el proceso como “exitoso”.

Se observa también que el incremento de temperatura no es uniforme, el control se realiza de forma escalonada debido a que la temperatura en incrementos continuos tiende a descontrolarse, es un parámetro físico con mucha histéresis.

Por esta razón es normal ver en las gráficas al inicio y al final de los procesos, figuras similares a dientes de sierra.

Para el test de Bowie-Dick se observa que la temperatura y la presión se incrementan casi al mismo tiempo, la presión supera los 220 kPa durante más de 3 minutos, tiempo en el que la temperatura supera los 130 °C, tal como se establece en el capítulo 2. Cabe señalar que el test resultó satisfactorio. El resultado confirma lo obtenido en el procedimiento anterior, el proceso de esterilización ha sido controlado y resulta exitoso.

Las curvas obtenidas no son exactamente iguales a las que muestra la teoría, los resultados experimentales no necesitan ser ideales, sino funcionales.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIO

4.1 Análisis de costos

Tabla N°17
Costo de recursos materiales directos

ITEN	COMPONENTES	PRECIO UNIT S/.	CANT	FUNCION	COSTO S/.
1	PLC MARCA: Omron Modelo: CPM1A-20CDR-A-V1	1051.68	1	Sistema de control	1,051.68
2	Ext. E/S de PLC MARCA: Omron Modelo: CPM1A-20CDR-A-V1	280.03	1	Sistema de control	280.03
3	Rele Encapsulado MARCA:Siemens Modelo: RQS40L	31.68	1	Sistema de control para el contactor de la faja	31.68
4	Base para rele Encapsulado MARCA:Siemens Modelo: 0535002RQ	18.86	1	Base para rele	18.86
5	Sensor de presion inductivo MARCA:Fotex Modelo: PM 12-04P-S	89.2	2	sensado de presencia metallica	178.40
6	Sensor de presencia optico MARCA: Optex Modelo: CCD-40(40N/P)	156.28	1	Sensado de presencia de objetivos	156.28
6	Sensor de Temperatura MARCA: Optex Modelo: Tipo J	120.28	1	Sensado de la temperatura en la camara	120.28
7	Contactador 9A MARCA:Siemens Modelo: 3RT1015-1BB41	76.16	1	control motor de la faja transportadora	76.16
8	Fuente de alimentacion MARCA:Siemens Modelo: 6EP13311SH02	284.38	1	Alimentacion del sistema de control	284.38
9	Motor trifasico 5HP MARCA: Eplisac	850.82	1	Generador del movimiento principal de la faja	850.82

10	Interruptor termico 32A Modelo: 06000796	230.45	1	Generador del movimiento principal de la faja	230.45
11	Selector 2 posiciones MARCA:Siemens Modelo: signum metallic	57.96	1	Entradas del PLC para el control	57.96
12	Pulsador verde NA MARCA:Siemens Modelo: signum metallic	28.2	7	Entradas del PLC para el control	197.40
13	Pulsador tipo hongo MARCA:Siemens Modelo: signum metallic	64.9	1	Parada de emergencia del sistema	64.90
14	Válvula selenoide MARCA: Burkert Modelo: RSC-2	242.74	2	Control de los pistones de posiciones de cabezal	485.48
15	Válvula selenoide MARCA: Burkert Modelo: 2w-160-15	340.87	1	Control de los pistones de posiciones de cabezal	340.87
16	Cámara de acero inoxidable	950	1		950.00
17	Enchaquetado de aluminio + posformado	50	12	1" de espesor	600.00
18	Tuberia de fierro negro SH-40	180	2	3/4"	360.00
19	Sistema de tablero eléctrico para bomba y plc	530	1		530.00
20	Empaquetadura de puerta siliconada	400	1	20 x20 mm.	400.00
21	Aislante de lana de vidrio con forro aluminizado	50	8	1" de espesor	400.00
22	Programar el Plc	2200	1		2,200.00
	TOTAL				9,865.63

Tabla N°18
Costo de Recursos de Materiales Indirectos

ITEN	COMPONENTES	PRECIO UNIT S/.	CANT	FUNCION	COSTO S/.
1	Maletín de herramientas básicas para uso eléctrico	50	1	Para instalación	50.00
2	Pinza Amperimétrica	300	1	Mediciones electricas	300.00
3	Mangueras neumática N° 6mm	8	25 mts	Conexionado neumático	200.00
4	Borneras regleta 16mm	17.82	2	Conexiones	35.64
5	Borneras para riel DIN	2	43	Conexiones	86.00
6	Tubo corrugado 2"	3.5	3 mts	Protección del cableado	10.50
7	Tubo corrugado 3/4"	2	10 mts	Protección de cableado	20.00
8	Cable GPT N° 18 AWG	0.63	200 mts	Cableado sistema de control	126.00
9	Cable N° 14AWG	1.21	10 mts	Cableado sistema de fuerza	12.10
10	Cableado vulcanizado NLT 2X N° 18 AWG	2.16	100 mts	Cableado de sistema de control	216.00
11	Cable vulcanizado NLT 3x N° AWG	3.5	20 mts	Cableado alimentacion de motores	70.00
12	Tornillo estovoles 3/16 x 1°	0.2	30	Asegurar los equipos eléctricos	6.00
13	Perfil perforado NS 35/7.5	10.5	2mts	Montar equipos eléctricos	21.00
14	Canales CD 40x40 phoenix	12.39	4 mts	Cableado eléctrico	49.56
15	Cinta aislante	3.24	2	Aislamiento de cables	6.48
16	Caja solar 35x35	30	1	Tablero de control	30.00
17	Plancha de acero 1x1mx2mm	62	1	Panel de control	62.00
	Total				1,301.28

Tabla N° 19
Costo del Proyecto

DESCRIPCION	MONTO S/.
Costos total recursos materiales directos	9,865.63
costos total recursos materiales indirectos	1,301.28
costos total recursos humanos directos	7,500.00
costo total recursos humanos indirectos	400.00
SUB TOTAL	19,066.91

Un 5 % del subtotal serán para gastos imprevistos que se puedan presentar en la implementación.

Gastos imprevistos = S/ 19,066.91 x 5%

Gastos imprevistos = S/ 953.36

Totales en soles	20,020.26
Total en dólares tipo cambio \$ 3.10	6,458.15

4.2 Análisis de costo de pérdidas

A. Pérdida de producción por máquina inoperativa

No contar con un equipo operativo genera pérdidas relevantes en un establecimiento de salud, tal y como se muestra en la tabla N°19.

Tabla N°20
Pérdida de producción por maquinaria inoperativa(a)

Máquina	Prod/hora (promedio)	Costo/unid	Total costo/hora	Horas perdidas	Perdida por mes (para 11 horas)
Autoclave	30 unid.	S/12.00	S/360	11hrs	S/3,960.00
Total	30	12.00	360	11	3,960.00
Cambio Dólar S/3.10					1,277.42

B. Pérdida hora hombre por paradas de mantenimiento

- Remuneración del operario del equipo mensual = S/. 900.00.
- Remuneración mensual del Ing. Electrónico Especializado = S/. 2500.00
- Remuneración Total mensual = S/. 3400.00
- Se estima un promedio de 240 h de trabajo al mes, esto por las horas extras. Entonces, se tiene un costo de Hora-Hombre = $3400.00/240 \text{ h} = \text{S}/. 14.17$
- Las paradas imprevistas mensuales son 12 horas al mes en promedio teniendo por consiguiente que el costo hora hombre sea el siguiente:
Costo total de hora hombre = $14.17 * 12 \text{ h} = \text{S}/. 170.00$

Tabla N°21
Pérdida de producción por maquinaria inoperativa(b)

DESCRIPCION	MONTO (S/.)
Perdida de Producción por maquinaria inoperativa	3,960.00
Perdida Hora-Hombre por paradas de mantenimiento	155.83
COSTO TOTAL	4,115.83
TOTAL DOLARES CAMBIO S/. 3.10	1,327.69

4.3 Análisis comparativo de equipos con el sistema propuesto

Tabla N°22
Análisis comparativo entre marcas de equipos de autoclave de la misma capacidad

MARCAS	SISTEMA PROPUESTO PARA REPOTENCIAR	AUTOCLAVE NUEVA MARCA CISA	AUTOCLAVE NUEVA MARCA SAKURA
AUTOCLAVE AUTOMATICO	X	X	X
PROCEDENCIA	PERU	ITALIANO	JAPONES
TOTAL EN M. BRUTO DÓLAR \$	\$ 6,458.15	\$ 110,000.00	\$ 80,000.00

Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis de sensibilidad

Tabla N°23
Análisis de sensibilidad

Descripción	Monto
Costo total del Proyecto \$	6,458.15
Costo total de Perdidas \$	1,327.69

Entonces:

Tiempo de recuperación es = $6,458.15 / 1,327.69 = 4.69$ meses.

$4.69 * 30 = 140.7 = 4$ meses y 26 días.

Este no indica que el tiempo de recuperación de lo invertido es de 4 meses y 26 días.

CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de control automático se logró definir, estructurar, desglosar implementar y monitorear, sin embargo se debe entender que el “tipo de material” es el que define el proceso de esterilización que se debe utilizar, la cual determina los valores que pueden tomar los tres parámetros para controlar la autoclave (temperatura, presión y tiempo) consecuentemente es de suma importancia conocer el rango de valores de estos parámetros, así como las consecuencias que ocasionarían el sobrepasar los límites fijados.
- Al incluir el PLC, se logró mejorar el control y el monitoreo de las variables temperatura con un error de ± 7 C°, la presión con un error de ± 7.7 PSI y tiempo; dando a conocer los parámetros reales durante el proceso de esterilización de los tipos de materiales. Si bien estos parámetros no son ideales, debido a que existe un grado de error mayor a los establecidos, si se alcanza el objetivo principal de esterilizar los equipos, corroborados por los marcadores tanto químicos como biológicos.
- La automatización de la autoclave resultó ser un gran aporte, ya que el operador solo se encarga de cargar y descarga el material al inicio y al fin del proceso de esterilización respectivamente, evitando que emplee su tiempo en cargar o descargar el aire, en fijar el *set point* de la temperatura en el rango de 121C° A 134 °C y de definir el tiempo del proceso de esterilización en 30min a 45min. Es posible ampliar la automatización si se añade los sistemas SCADA de un número ilimitado de autoclaves que pueden ser monitoreadas desde una PC, Este sistema también realiza un control PID con el cual han podido llegar a observar diferentes tipos de temperatura y presión para las distintas etapas en las que se encuentra el producto. El continuo monitoreo del proceso ha sido diseñado para poder proveer detalladamente las mediciones de temperatura, presión y tiempo dentro de la autoclave y compararlas con alarmas de nivel ya fijadas por el usuario.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda mantenimiento preventivo para evitar que el equipo de autoclave presentes futuros problemas de gravedad e interrumpiendo con el proceso de esterilización.
2. Se recomienda que el personal que labora en el área de central de esterilización se encuentre capacitada del uso y manejo del equipo de autoclave para evitar cualquier tipo de problemas.
3. El agua a usar para el equipo de autoclave debe ser agua blanda, con una dureza menor de 60 ppm, libre de sales de calcio y magnesio, para evitar las incrustaciones en las tuberías.
4. Al trabajar con un sistema no lineal para el control de temperatura se recomienda el estudio y la investigación de mecanismos que permitan realizar un modelo de la “planta” con el fin de mejorar el control y manejarlo con una mayor precisión.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acosta S., & Andrade V. (2008). *Manual de esterilización para centros de salud*. Washington.
- Borja, A., Burga, P., & Chang, J. (2002). Manual de desinfección y esterilización hospitalaria. *Perú. MINSA-USAID*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Manual+de+des+infecci+n+y+esterilizaci+n+hospitalaria#1>
- Equipos de riego -Las Brujas de Talagante. (n.d.). Válvulas metal con solenoide. Retrieved from http://www.equiposderiego.cl/vista_producto.php?scat=24&pro=86
- Especialistas técnicos en fluidos de occidente SA. (n.d.). Válvulas y medidores de flujo. Retrieved from http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_check.html
- Poliem pack. (n.d.). Termocuplas. Retrieved from <http://www.poliempack.com/termocuplas/>
- Proveedores industriales. (n.d.). Compresoras y unidades de vacío. Retrieved from http://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=55
- Rigel N, R. B. (2008). *Automatización de esterilizadores para productos alimenticios enlatados*. *bibliogeo.ing.ucv.ve*. Universidad Central de Venezuela. Retrieved from http://bibliogeo.ing.ucv.ve/DB/bfiegucv/EDOCS/SRed/2012/10/T041500005176-0-TEG_ANAYA_RAQUEL_2004-000.pdf
- Saila, O. (n.d.). Guía para la gestión del proceso de esterilización.
- Sánchez, J. E. R. (2008). *Automatización del sistema de control y monitoreo de una autoclave para el proceso de vulcanización del caucho en calzado de lona*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/217/REYES_SANCHEZ_JAVIER_AUTOMATIZACION_SISTEMA_CONTROL_VULCANIZACION.pdf?sequence=1
- Siemens, W. De. (n.d.). Control de procesos “scada.”

Wikipedia. (26 de febrero de 2016). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Autoclave>

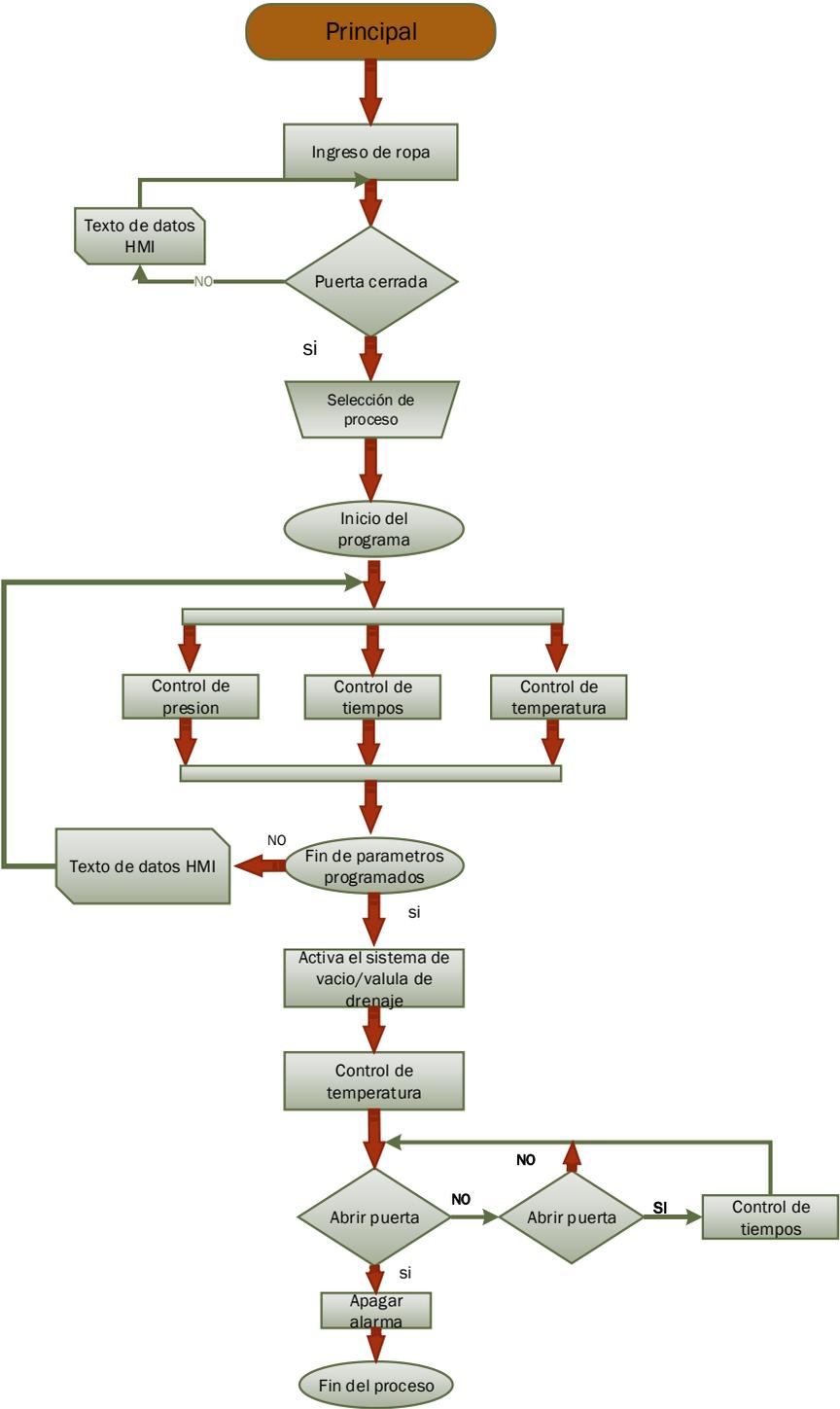
ANEXO

Anexo N° 1: Matriz de consistencia

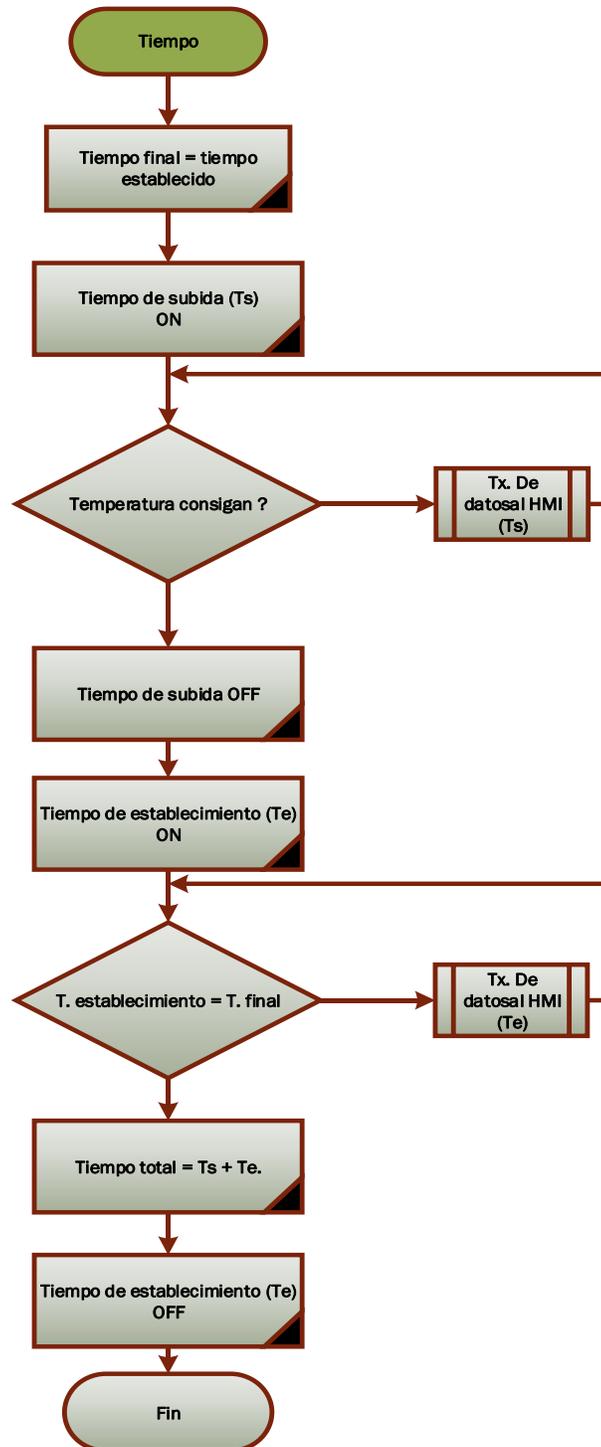
Diseño de un sistema de control automático para optimizar el manejo del equipo de autoclave de vapor en la central de esterilización del Hospital Nacional Cayetano Heredia

I. PROBLEMA GENERAL	II. OBJETIVOS	IV. VARIABLES E INDICADORES.			
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cómo asegurar que el equipo de autoclave a vapor controla adecuadamente sus variables e tiempo, temperatura y presión en la central de esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>1. ¿Cómo se realizará el diseño del sistema de control automático en la autoclave de vapor de la central de esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia?</p> <p>2. ¿Cómo se verificará que el diseño del equipo de la autoclave de vapor controla adecuadamente las variables de tiempo, temperatura y presión en la central de esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia?</p> <p>3. ¿Cómo se validará que los materiales se hayan esterilizado acorde a los estándares nacionales e internacionales?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar un sistema de control automático para optimizar el manejo del equipo de autoclave de vapor de la central de esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1. Definir glosar las etapas que conlleva la realización del control automático para el manejo del autoclave a vapor de la central esterilización en el Hospital Nacional Cayetano Heredia.</p> <p>2. Controlar la temperatura a 134°C, presión a 32PSI en relación al tiempo, en forma automática, comandada por un PLC.</p> <p>3. Validar que los materiales se hayan esterilizado acorde a los estándares nacionales e internacionales</p>	VARIABLE INDEPENDIENTE: (X)			
		DIMENSIONES Control Automático	INDICADORES		
		Aplicación del PLC	<ul style="list-style-type: none"> • Programación • Gobierno de alta potencia • Tiempo de respuesta • Compatibilidad con SCADA 		
		Sensores			
		VARIABLE DEPENDIENTE: (Y)		DIMENSIONES	INDICADORES
		Manejo De Equipo De Autoclave			
Controlar los parámetros.	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura. • Presión. • Sistema operativo. • Proceso de esterilización 				
Monitoreo					

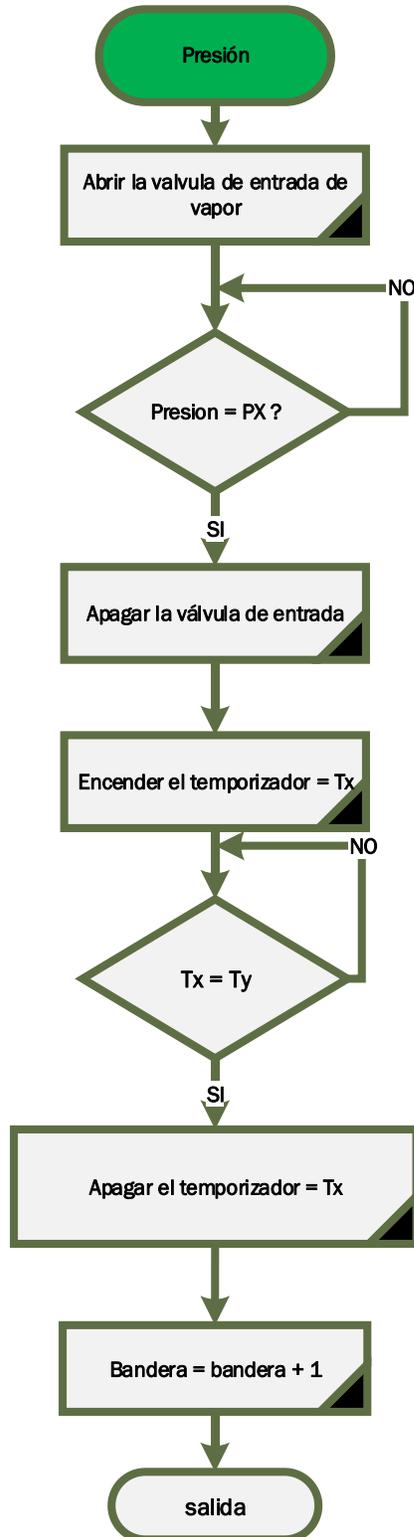
Anexo 2
Diagrama de flujo del proceso de esterilización



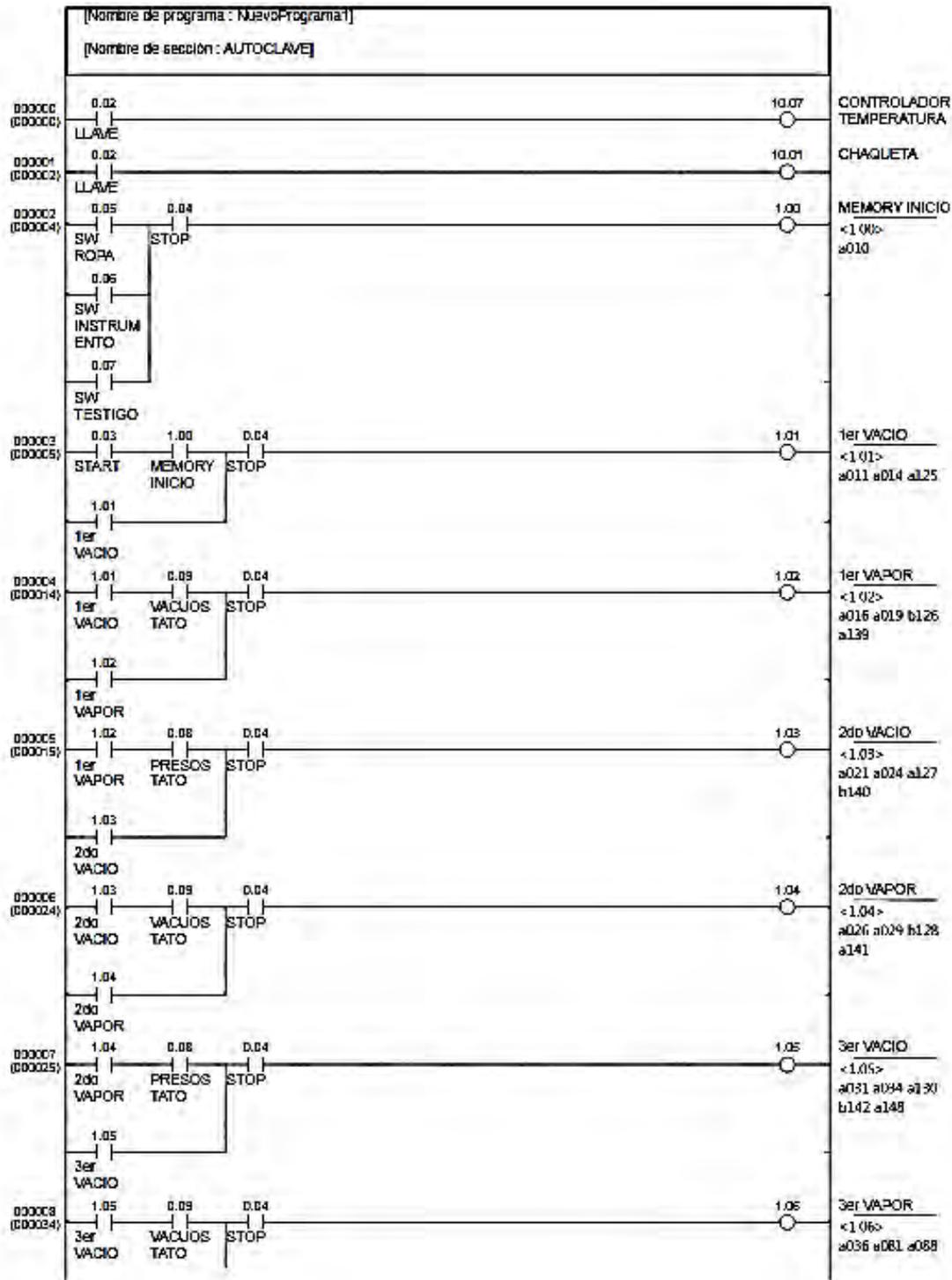
Anexo 3 Diagrama de flujo de control de tiempo

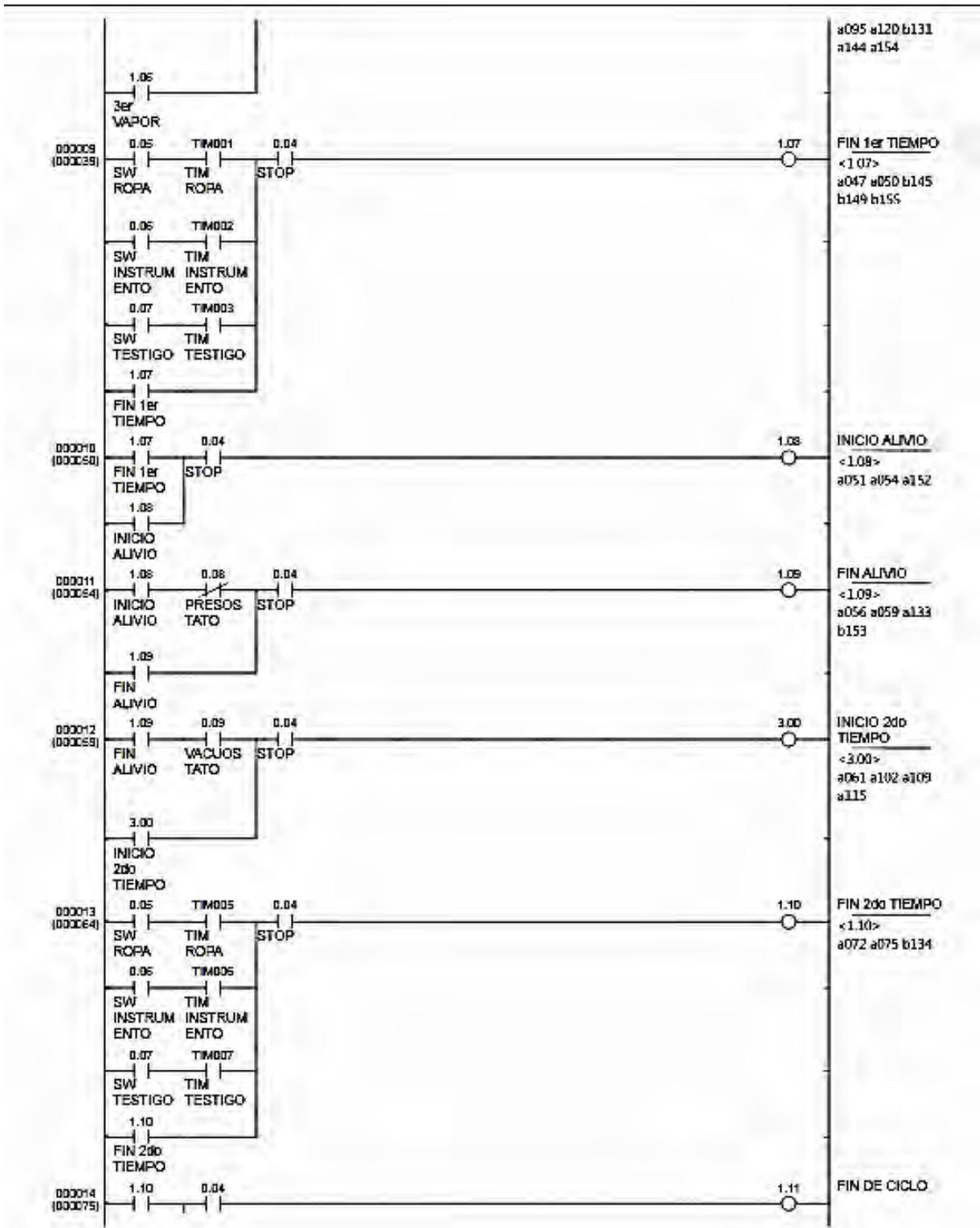


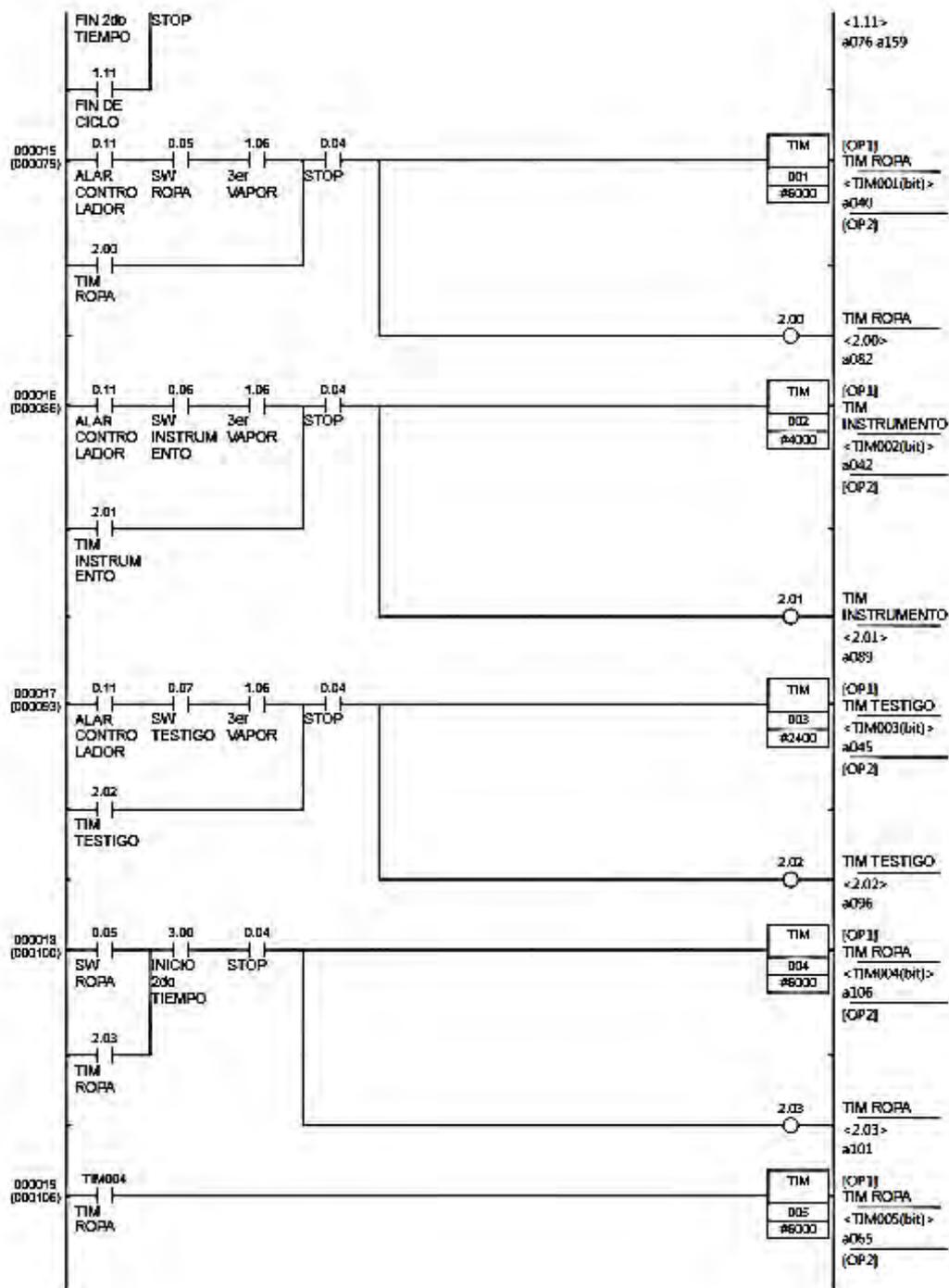
Anexo 4
Diagrama de flujo de control de presión

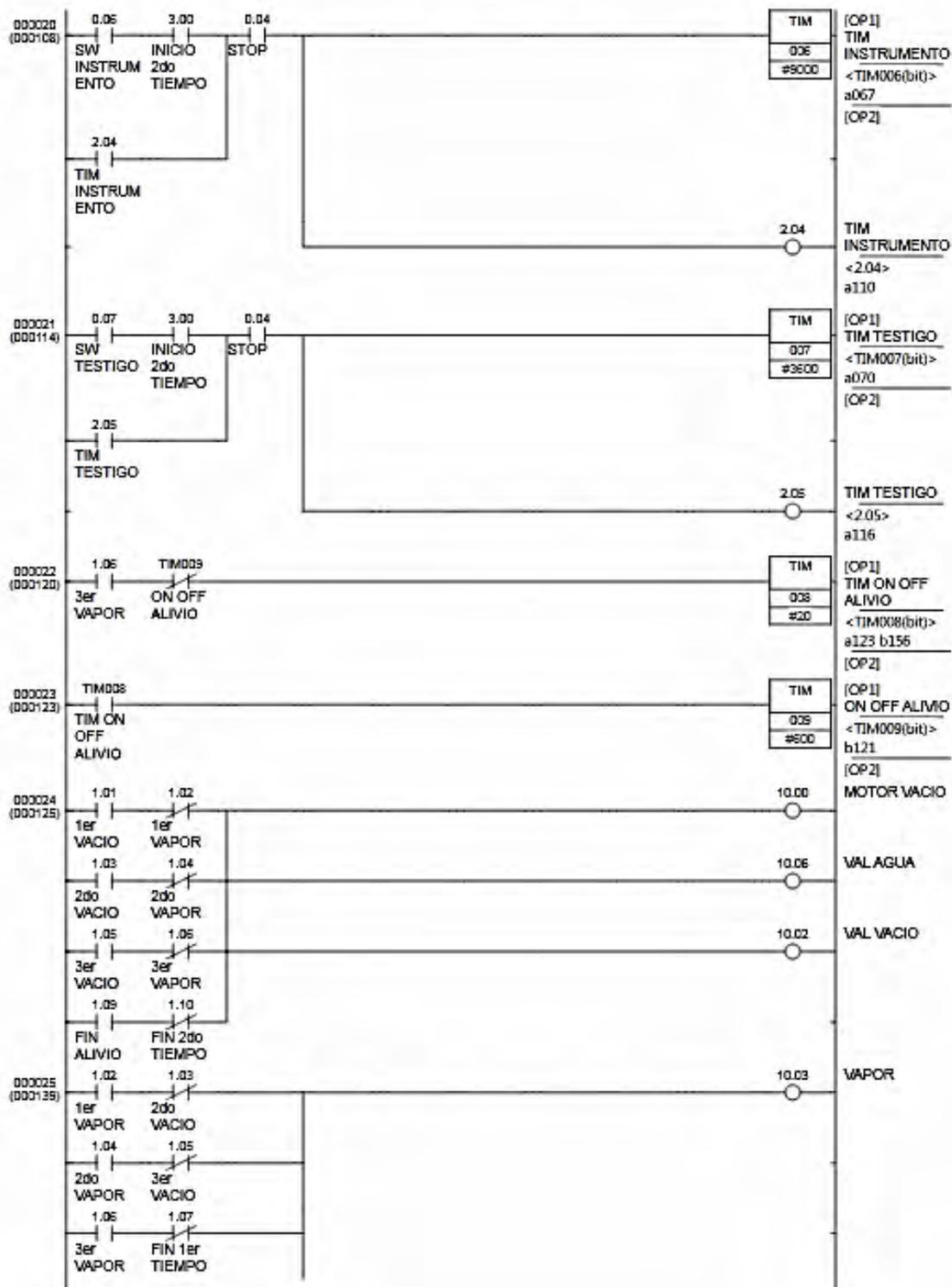


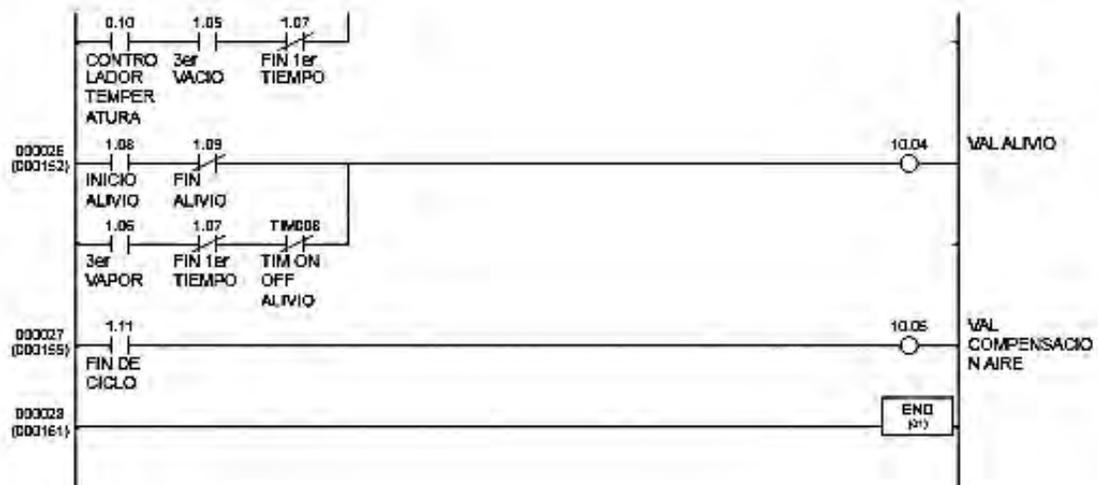
Anexo 5
Programa del sistema de control de la autoclave -PLC











End programa

Anexo 5 Resultados de tiempo, temperatura y presión en el proceso de esterilización

TIEMPO (Min)	TEMPERATURA °C	PRESION (PSI)
0	35	2.9
0.5	38	4.35
1	40	7.25
1.5	42	10.15
2	45	-5.8
2.5	48	-8.7
3	51	10.15
3.5	55	13.775
4	60	15.95
4.5	50	15.95
5	57	18.85
5.5	62	20.3
6	65	21.025
6.5	70	21.025
7	75	21.75
7.5	65	21.75
8	80	22.475
8.5	87	22.475
9	93	25.375

9.5	100	26.1
10	108	26.825
10.5	117	27.55
11	119	29
11.5	123	30.45
12	127	31.9
12.5	131	37.7
13	135	37.7
13.5	135	37.7
14	135	37.7
14.5	134	37.7
15	134	41.325
15.5	134	41.325
16	134	41.325
16.5	134	41.325
17	134	41.325
17.5	134	41.325
18	134	42.775
18.5	134	42.775
19	134	42.775
19.5	134	42.775
20	134	42.775
20.5	134	42.775
21	134	42.775
21.5	134	42.775
22	134	42.775
22.5	134	42.775
23	134	42.775
23.5	134	42.775
24	134	42.775
24.5	134	42.775
25	134	42.775
25.5	134	42.775
26	134	42.775
26.5	134	42.775
27	134	42.775
27.5	134	42.775
28	134	42.775
28.5	134	42.775
29	134	42.775
29.5	134	42.775

30	134	42.775
30.5	134	42.775
31	134	42.34
31.5	134	42.34
32	134	42.34
32.5	134	42.34
33	135	39.875
33.5	135	39.15
34	135	39.15
34.5	135	31.175
35	133	32.625
35.5	128	32.625
36	125	31.9
36.5	122	31.9
37	118	31.9
37.5	114	29
38	110	36.25
38.5	105	30.45
39	100	29
39.5	95	29
40	90	-2.9
40.5	85	-5.8
41	80	-10.15
41.5	75	-13.775
42	80	-15.95
42.5	80	-18.85
43	75	-21.75
43.5	75	-29
44	70	-7.25
44.5	65	-2.9
45	65	2.9
45.5	65	0