



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DEL PERÚ

**Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Mecatrónica**

**Programa Especial de Titulación:**

**“Diseño de un control para el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María 2018”**

Autor: Hugo Naveros Mendoza

para optar el Título Profesional de  
**Ingeniero Mecatrónico**

Lima – Perú

2019

## **DEDICATORIA**

**A:** Mi familia, mis amigos y personas testigos desde mi niñez hasta hoy, mi esposa e hijos; mi gran fortaleza e incondicional durante mi carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

**A:** Mi madre; por darle a mi vida un efecto diferente a lo que estaba destinado, mis familiares, amigos y personas que estuvieron en mi entorno; dándome influencia directa o indirectamente, mi esposa; por su apoyo constante e incondicional, e hijos; por ser el suceso de mis sueños. Todos ellos hicieron un ingrediente fundamental en mi vida personal y mi carrera profesional.

## **RESUMEN**

El presente informe de suficiencia profesional titulado tiene como objetivo principal: Diseñar un control para el sistema de esterilización sanitaria por vapor a saturación en la empresa Asepsis Perú S.R.L. Jesús María 2018. Es de enfoque cualitativo y de diseño pre experimental. Para la obtención de resultados se ha ejecutado el diseño del controlador automático efectuando un análisis de todo el sistema y equipamiento actual, centrándose en la lógica cableada y funcionamiento, cuantificando valores de los parámetros de esterilización, los cuales hacen que la calidad de esterilización sea efectiva, es decir que según las características de la carga o material a esterilizar en interacción con el proceso de esterilización. En sus inicios, como en toda ciencia el conocimiento del proceso de esterilización era limitado, posteriormente se descubrió que el aire era una limitante, se reveló también que aquellas cargas porosas solían ser las más difíciles de esterilizar, dieron solución a estos problemas, sin dejar de mantener la calidad del producto, actualmente la responsabilidad legal a dado auge en los hospitales obligando que los procesos sean correctamente evaluados y documentados. Por ello un esterilizador con control automático una vez apretado el botón de inicio será difícil interferir, salvo una acción forzada manualmente y la carga será considerada no estéril. Por tanto, en el trabajo se concluye que el proceso será validado y el equipo es contrastable bajo un control rutinario del proceso de esterilización de los dispositivos sanitarios según ISO 17665-1:2006.

**Palabras clave:** Diseño de control, esterilización por vapor, sistema

## **ABSTRACT**

The main purpose of this professional proficiency report is to: Design a control for the sanitary steam sterilization system to saturation in the company Asepsis Perú S.R.L. Jesús María 2018. It has a qualitative approach and a pre-experimental design. In order to obtain results, the design of the automatic controller has been executed, carrying out an analysis of the entire system and current equipment, focusing on the wired logic and operation, quantifying values of the sterilization parameters, which make the quality of sterilization effective. , that is, according to the characteristics of the load or material to be sterilized in interaction with the sterilization process. In its beginnings, as in all science the knowledge of the sterilization process was limited, later it was discovered that the air was a limiting factor, it was also revealed that those porous loads used to be the most difficult to sterilize, they gave solution to these problems, without leaving to maintain the quality of the product, currently the legal responsibility to give boom in hospitals forcing processes to be properly evaluated and documented. Therefore, a sterilizer with automatic control once the start button is pressed will be difficult to interfere, except for a manually forced action and the load will be considered non-sterile. Therefore, in the work it is concluded that the process will be validated and the equipment is verifiable under a routine control of the sterilization process of the sanitary devices according to ISO 17665-1: 2006.

**Key words:** Control design, steam sterilization, system

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y ELECTRÓNICA**  
**PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN**  
**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE DATOS EN EL INFORME DE**  
**SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Lima, 08 de agosto de 2018

Yo Carlos Manuel Bozzo Mora, identificado con DNI N° 09167031, Gerente Administrativo, en representación de la empresa **Asepsis Perú S.R.L.**, con **RUC N° 20504549322**, autorizo a **Hugo Naveros Mendoza** a utilizar los datos de la organización necesarios para desarrollar su Informe de Suficiencia Profesional referidos a **“Diseño de un control para el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María - 2018”**.

  
.....  
CARLOS M. BOZZO MORA  
ASEPSIS PERÚ SRL  
-----  
GERENTE DE ADMINISTRACIÓN

Firma y Sello del Representante de la Empresa

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	18
CAPÍTULO 1 .....	20
ASPECTOS GENERALES .....	20
1.1 Definición del problema .....	20
1.1.1 Descripción del problema .....	20
1.1.2 Formulación del problema .....	21
1.1.3 Hipótesis .....	22
1.2 Definición de objetivos .....	22
1.2.1 Objetivo general .....	22
1.2.2 Objetivos específicos .....	22
1.2.3 Alcances y limitaciones .....	22
1.2.4 Justificación y motivación .....	23
1.2.5 Metodología .....	24
1.2.6. Población y muestra .....	25
1.2.7. Instrumento de recolección de datos .....	25
CAPÍTULO 2 .....	26
MARCO TEÓRICO .....	26
2.1 Antecedentes del proyecto .....	26

2.1.1 Internacionales .....	26
2.1.2 Nacionales .....	27
2.2 Fundamento teórico .....	28
2.2.1 Automatización .....	28
2.2.2 Esterilización .....	53
CAPÍTULO 3.....	64
DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN .....	64
3.1 Análisis .....	64
3.1.1 Diagrama de bloques de proceso de un esterilizador .....	64
3.1.2 Diagrama de bloques de comunicaciones del PLC y periféricos .....	65
3.1.3 Estructura de control del equipo .....	66
3.1.4 PLC (controlador lógico programable) .....	71
3.1.5 Unidades de temperatura.....	76
3.1.6 Unidades de presión .....	77
3.1.7 Contenido calórico.....	77
3.1.8 Contenido energético total o entalpía .....	78
3.1.8 Cantidad de energía para la evaporación.....	79
3.1.9 Vapor saturado .....	80
3.1.10 Lenguajes de programación de autómatas .....	81
3.1.11 Normas de estandarización del proceso de esterilización .....	82
3.2 Diseño.....	83
3.2.1 Dispositivos de Comunicación Hombre-Máquina (HMI).....	85
3.3 Simulación .....	92
3.4 Selección de materiales .....	107
3.5 Circuito de control del motor utilizado.....	107
CAPÍTULO 4.....	113
RESULTADOS .....	113

4.1 Resultados.....	113
4.2 Presupuesto .....	124
4.3 Cronograma.....	128
4.3.1 Diagrama de Gantt.....	129
CONCLUSIONES.....	132
COSTO BENEFICIO .....	133
GLOSARIO .....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137
ANEXOS.....	142
Anexo I – Tabla del sistema de control de temperatura.....	143
Anexo II - Diagrama de flujo del proceso (PFD).....	144
Diagrama P&ID ISA S5.1 del sistema de esterilización por vapor.....	144
Diagrama P&ID ISA S5.4 del sistema de esterilización por vapor.....	145
Anexo III - Secuencia de funcionamiento por etapas.....	146
Anexo IV – Diagrama EDT de costos y horas de trabajo.....	151
Anexo V – Programación ladder en el entorno TIA portal.....	161
ANEXO VI – Simulación.....	175

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1: Las unidades en el antiguo Sistema Británico.....	60
Tabla 2: Tabla de presiones y tiempos estándares para la esterilización. ....	62
Tabla 3: Entrada y salida de datos del esterilizador. ....	72
Tabla 4: Ley de Ohm. ....	73
Tabla 5: Ley de Watt. ....	73
Tabla 6: Características externas de un autómeta. ....	74
Tabla 7: Tabla de conversión de unidades de temperatura. ....	77
Tabla 8: Tabla de conversión de unidades de temperatura. ....	77
Tabla 9: Entalpía del agua de 0 a 100°C. ....	79
Tabla 10: Entalpía del agua en comparación con otras sustancias líquidas. ....	79
Tabla 11: Contenido calórico o entalpía de vapor puro. ....	80
Tabla 12: Normas de consulta en su elaboración original. ....	83
Tabla 13: Secuencias del proceso de esterilización por etapas. ....	98
Tabla 14: Parámetros de esterilización para un programa estándar. ....	102
Tabla 15: Materiales requeridos para la elaboración del control ....	107
Tabla 16: Cuadro de correspondencia del cumplimiento de los resultados. ....	114
Tabla 17: Presupuesto con costo y duración detallada. ....	125
Tabla 18: Hoja de recursos de interesados, materiales y costos. ....	126
Tabla 19: Cuadro de cronograma detallado. ....	128
Tabla 20: Parámetros calculados para los controladores PI Y PID. ....	143
Tabla 21: Hoja de costos detallado. ....	151

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Bloques de Control de Temperatura de un Autoclave. ....	18
Figura 2: Sistema de Control con sus componentes básicos. ....	30
Figura 3: Regulador de velocidad centrífugo de James Watt. ....	31
Figura 4: Industria 4.0, En el umbral de la cuarta revolución industrial. ....	33
Figura 5: Diagrama de Bloques de Control general descriptivo de un Control Automático. .....	34
Figura 6: Ejemplo de control de lazo abierto, considere un calefactor eléctrico.....	35
Figura 7: Ejemplo de control de lazo cerrado, considere un calefactor eléctrico. ....	35
Figura 8: Señales: (a) análoga, y (b) la versión digital de la señal análoga que muestra la corriente de señales muestreadas. ....	37
Figura 9: Estructura básica de un autómata programable. ....	43
Figura 10: Diferentes tipos de PLC. ....	44
Figura 11: Un modelo de PLC compacto. ....	45
Figura 12: Un modelo de PLC semicompacta. ....	45
Figura 13: Un módulo de PLC modular. ....	46
Figura 14: Entradas y salidas de un PLC. ....	47
Figura 15: Memorias de un autómata programable. ....	48
Figura 16: Sistema de comunicaciones del PLC. ....	49
Figura 17: Diagrama representativo de escalabilidad. ....	49
Figura 18: Sistema de control de movimiento básicos: encoder, variador y motor. ....	50
Figura 19: Rutinas de autodiagnóstico de un PLC de seguridad. ....	51
Figura 20: Lenguajes de programación. ....	51
Figura 21: Paneles de operación en una red de autómatas programables. ....	52
Figura 22: Disciplinas que aportan a la Esterilización. ....	53
Figura 23: El huevo al calentarse en agua se vuelve blanco, se coagula. ....	54

Figura 24: El huevo al freír a mayor temperatura se quema, se conoce como oxidación.	55
Figura 25: Autoclave por vapor a saturación.	56
Figura 26 El agua en estado gaseoso vapor.	57
Figura 27: Principio de presión hidráulica.	57
Figura 28: Esquema de la presión atmosférica.	58
Figura 29: Presión Absoluta y Relativa.	59
Figura 30: Si se aplica calor sube la temperatura.	61
Figura 31: Diagrama de bloques de proceso de un esterilizador.	65
Figura 32: Diagrama de comunicaciones del PLC y periféricos.	66
Figura 33: Diagrama de flujo de la etapa de INICIO del proceso de Esterilización.	67
Figura 34: Diagrama de flujo de la etapa de Acondicionamiento.	68
Figura 35: Diagrama de flujo de la etapa de Esterilización.	69
Figura 36: Diagrama de flujo de la etapa de Secado.	70
Figura 37: Diagrama de flujo de la etapa de Igualación.	71
Figura 38: Características externas de un autómeta.	75
Figura 39: Comparación del contenido calórico específico de diferentes materiales.	78
Figura 40: Ejemplo de programa con lenguaje gráfico de contactos.	81
Figura 41: Los símbolos básicos de programación.	81
Figura 42: Diagrama ladder de programación del sistema de control de un esterilizador.	85
Figura 43: Lista de variables establecidas del PLC.	86
Figura 44: Asignación de un HMI dentro del proyecto para simulación.	87
Figura 45: Panel de asistente de control.	87
Figura 46: Conexión correcta entre el HMI y el PLC.	88
Figura 47: Ventana de formato de imagen.	88
Figura 48: HMI asignada al PLC.	89
Figura 49: Menú de inicio interactivo e intuitivo.	90
Figura 50: Menú de programas elegibles según material a esterilizar.	91

Figura 51: Menú de inicio y control del proceso de esterilización.....	91
Figura 52: Panel de Control y Mando del HMI.....	93
Figura 53: Variables del programa:.....	94
Figura 54: Receta de programas, mando y control del programa.....	95
Figura 55: Panel del programa “Estándar 134 °C” seleccionado.....	96
Figura 56: La gráfica de la secuencia del programa “Estándar 134 °C”.....	97
Figura 57: Secuencia del programa elegible “Estándar 134 °C”.....	97
Figura 58: Panel Inicio del proceso de esterilización “VACÍO”.....	98
Figura 59: Variables del programa.....	99
Figura 60: Panel condicionamiento del proceso de esterilización “INYECCION”.....	100
Figura 61: Panel de “CALENTAMIENTO” del proceso de esterilización.....	101
Figura 62: Panel de “ESTERILIZACION” del proceso de esterilización.....	102
Figura 63: Panel de “ESTERILIZACIÓN” del proceso de esterilización.....	103
Figura 64: Panel de “DESVAPORIZACION” del proceso de esterilización.....	104
Figura 65: Panel de “DESVAPORIZACION” del proceso de esterilización.....	105
Figura 66: Panel de “FIN DE CICLO” del proceso de esterilización.....	106
Figura 67: Circuito de control gráfica del motor de la electrobomba.....	108
Figura 68: Circuito de control real del motor de la electrobomba.....	109
Figura 69: Electrobomba centrífuga multietapa y datos.....	110
Figura 70: Datos técnicos de la electrobomba centrífuga multietapa.....	111
Figura 71: Simulación desde el entorno HMI de un programa estándar de 134°C.....	114
Figura 72: Resultado con la ejecución desde el HMI la secuencia programada en funcionamiento.....	114
Figura 73: Secuencia de programación por etapas.....	115
Figura 74: Panel bienvenida del HMI.....	116
Figura 75: Secuencia al encender.....	116
Figura 76: Receta de programas elegibles.....	116

Figura 77: Receta de selección de programas.....	116
Figura 78: Características y parámetros del programa estándar.....	117
Figura 79: Diagrama programa “Estándar 134 °C”.....	117
Figura 80: Panel Inicio “VACÍO”.....	118
Figura 81: Secuencia de Inicio “VACÍO”.....	118
Figura 82: Panel condicionamiento “INYECCION”.....	119
Figura 83: Secuencia de Inyección.....	119
Figura 84: Panel de “CALENTAMIENTO”.....	120
Figura 85: Secuencia de calentamiento.....	120
Figura 86: Panel de “ESTERILIZACION”.....	121
Figura 87: Secuencia de esterilización.....	121
Figura 88: Panel de “DESVAPORIZACION”.....	122
Figura 89: Secuencia de Desvaporización.....	122
Figura 90: Panel de “SECADO”.....	123
Figura 91: Secuencia de secado.....	123
Figura 92: Panel de “FIN DE CICLO”.....	124
Figura 93: Diagrama de EDT compacta.....	125
Figura 94: Reporte de producción por día y anual.....	133
Figura 95: Reporte de valor neto de producción por día.....	134
Figura 96: Reporte de recuperación de inversión en días.....	134
Figura 97: Diagrama P&ID ISA S5.1.....	144
Figura 98: Diagrama P&ID ISA S5.4.....	145
Figura 99: Receta de programas elegibles 1.....	146
Figura 100: Características y parámetros de visualización de un programa estándar....	147
Figura 101: Diagrama de proceso de esterilización.....	148
Figura 102: Diagrama de EDT de horas y costos.....	151
Figura 103: Entorno Tia Portal la secuencia de programación por etapas.....	161

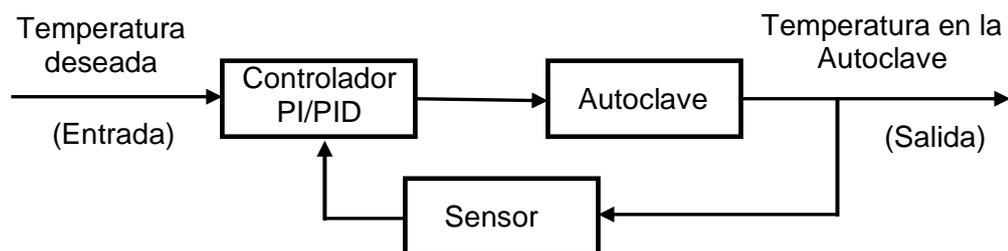
Figura 104: Secuencia una vez encendido o modo estambay.....	162
Figura 105: Receta de programas elegibles.....	163
Figura 106: Secuencia de menú de selección de programas.....	163
Figura 107: Características y parámetros de visualización de un programa estándar....	164
Figura 108: Secuencia de Inicio.....	165
Figura 109: Diagrama de proceso de esterilización “Estándar 134 °C”.....	165
Figura 110: Secuencia Vacío 1.....	166
Figura 111: Secuencia Vacío 2.....	167
Figura 112: Secuencia Inyección de Vapor.....	168
Figura 113: Secuencia Calentamiento.....	169
Figura 114: Secuencia Esterilización.....	170
Figura 115: Secuencia Desvaporización.....	171
Figura 116: Secuencia Secado.....	172
Figura 117: Secuencia Igualación y final del proceso.....	173
Figura 118: Variables de programación.....	174
Figura 119: Panel de Control y Mando del HMI.....	175
Figura 120: Variables del programa:.....	176
Figura 121: Receta de programas, mando y control del programa.....	176
Figura 122: Panel del programa estándar seleccionado.....	177
Figura 123: Panel Inicio del proceso de esterilización “VACIO”.....	177
Figura 124: Panel condicionamiento del proceso de esterilización “INYECCION”.....	178
Figura 125: Panel de la gráfica del proceso de esterilización “INYECCION”.....	178
Figura 126: Panel de “CALENTAMIENTO” del proceso de esterilización.....	179
Figura 127: Panel de “ESTERILIZACION” del proceso de esterilización.....	179
Figura 128: Panel de “ESTERILIZACION” del proceso de esterilización.....	180
Figura 129: Panel de “DESVAPORIZACION” del proceso de esterilización.....	180
Figura 130: Panel de “DESVAPORIZACION” del proceso de esterilización.....	181

Figura 131: Panel de “FIN DE CICLO” del proceso de esterilización. .... 181

## INTRODUCCIÓN

En el presente informe de suficiencia profesional se analizan los conceptos en materia de automatización, HMI, programación ladder, control, instrumentación, desinfección, autoclave sanitaria, esterilización, vapor a saturación, etc., una vez enterados sobre estas teorías descritas anteriormente, se podrá analizar el equipamiento y lógica cableada con que cuenta el sistema de esterilización por vapor, llegando fácilmente a reconocer, que el diseño de un control elaborado será con el fin de gobernar, monitorizar y asegurar el proceso de esterilización; es decir que el control diseñado controlará a los actuadores tales como: bomba de vacío, válvulas neumáticas, electroválvulas y ventiladores, a través sensores como señales de entrada (sensor de temperatura, presostato o transductor de presión y sensores de nivel), además estará integrado para monitorizar, controlar y programar desde una pantalla de interfaz HMI.

Los parámetros de esterilización, tiempo, temperatura y presión son los parámetros fundamentales en un proceso de esterilización exitosa, por tanto, la variable temperatura en la industria del sistema del control PID es la más utilizada debido a la simplicidad en el diseño e implementación.



*Figura 1: Diagrama de Bloques de Control de Temperatura de un Autoclave.*

*Fuente: Elaboración propia*

En el presente trabajo se presentaron las teorías, antecedentes y resultados, y están estructurados de la siguiente manera:

En el Capítulo I se plantean los aspectos generales, se plantean los problemas existentes con relación al objeto de estudio, se plantean el objetivo principal y específicos, los alcances y limitaciones, la justificación y la metodología.

En el Capítulo II se detalla el marco teórico, las investigaciones similares (antecedentes) relacionadas a las variables del estudio y el fundamento teórico.

En el Capítulo III se presenta el desarrollo de la solución, análisis, diseño, la simulación y la selección de materiales.

En el Capítulo IV se presentan los resultados, el presupuesto y el cronograma, y

Finalmente, las conclusiones de la investigación.

## **CAPÍTULO 1**

### **ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1 Definición del problema**

##### **1.1.1 Descripción del problema**

En la actualidad, con el desarrollo e innovación de las tecnologías ha dado lugar a la automatización de procesos industriales de manera muy significativa, permitiendo a las compañías implementarla en sus procesos de producción, siendo estos cada vez más eficientes, seguros y por ende competitivos, entre ellos se encuentran las autoclaves. La invención del primer transistor en 1947 dio el primer paso en la evolución industrial pasando por la electrónica, los PLC, la digitalización y la simulación virtual.

En la ciudad de Lima desde el año 2002, la empresa Asepsis Perú S.R.L., inicia sus servicios de esterilización de productos con métodos de alta y baja temperatura, teniendo en funcionamiento dos esterilizadores instalados desde sus inicios; se ha identificado la deficiencia en el funcionamiento del control automatizado y accesorios los cuales afectan la operatividad de sus equipos y su rendimiento.

Debido a la tecnología obsoleta se observa diversos problemas como tener que estar adecuando accesorios de control y mando (pulsadores, perillas, micro relés, leds, etc.),

visualización limitada en el progreso del proceso de esterilización, muestra solo algunos parámetros de esterilización, tiene una lógica cableada muy compleja.

Las deficiencias encontradas en los equipos son: fallas imprevistas, repetición de procesos de esterilización que afecta el normal funcionamiento del equipo.

### **1.1.2 Formulación del problema**

Las consideraciones expuestas respecto a los inconvenientes en el control automático para el sistema de esterilización por vapor a saturación, nos llevan a plantear la siguiente interrogante:

#### **1.1.2.1 Problema general:**

¿Cómo el diseño de un control automático permitirá visualizar y programar el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María – 2018?

#### **1.1.2.2 Problemas específicos:**

- ¿Cómo el análisis de los componentes de la lógica cableada del control actual del esterilizador por vapor permitirá visualizar y programar el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María – 2018?
- ¿Cómo el diseño del algoritmo de control mediante el programa TIA Portal permitirá visualizar y programar el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María – 2018?
- ¿Cómo la simulación del diseño de control en el entorno PLCSIM permitirá visualizar y programar el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María – 2018?
- ¿Cómo la selección de los materiales y dispositivos adecuados para el control automatizado permitirá visualizar y programar el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María – 2018?

### **1.1.3 Hipótesis**

La implementación de un control automático permite adecuadamente controlar, visualizar y programar desde un HMI el proceso de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María – 2018.

## **1.2 Definición de objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar un control para el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María 2018.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Analizar los componentes de la lógica cableada del control actual del esterilizador por vapor.
- Diseñar el algoritmo de control mediante el programa TIA Portal.
- Simular el diseño del algoritmo de control en el entorno PLCSIM.
- Seleccionar los materiales y dispositivos adecuados para el control automatizado.

### **1.2.3 Alcances y limitaciones**

#### **1.2.3.1 Alcances**

En el presente informe explorara el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María del año 2018

La investigación abarca únicamente a la empresa Asepsis Perú S.R.L. con el diseño de un control automático en el programa TIA Portal.

### **1.2.3.2 Limitaciones**

- La falta de actualización de los registros de deficiencia en el funcionamiento del control automatizado de dos esterilizadores y de los accesorios que afectan la operatividad de los equipos y su rendimiento.
- Banco de datos incompletos y no actualizados de la empresa Asepsis Perú S.R.L.
- El periodo de tiempo de recolección de datos de la información comprende un año de duración a partir de mes de enero hasta el mes de diciembre de 2018.

### **1.2.4 Justificación y motivación**

#### **1.2.4.1 Justificación práctica**

Aplicar las teorías relacionados a la automatización para darle solución al problema. Este informe de suficiencia profesional comprobará, que el paso del tiempo y el uso de cualquier dispositivo o equipo se ven afectados, requiere también una actualización tecnológica, por ello se ha visto por conveniente un nuevo diseño de un control para el sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., mediante un diseño amigable, intuitivo, fiable y eficiente en el proceso de producción.

Dicho diseño de control no se diseñará de forma empírica ni intuitiva, sino que se alineará a una norma de control de proceso de esterilización vigente (ISO 17665-1:2006).

#### **1.2.4.2 Motivación**

El estudio probará la mejora económica para la empresa, mediante el ahorro de energía eléctrica, vapor, electricidad, etc., implementando el nuevo diseño de un control automatizado monitorizado, de la misma manera este nuevo diseño tendrá impacto en la sociedad ya que los procesos de esterilización serán más seguras y oportunas en la atención médica y finalmente estos mismos diseños de control automatizado se podrán implementar en las empresas e instituciones sanitarias, en sus sistemas de esterilización por

vapor tecnológicamente obsoletos, con posibilidades de mejoras continuas en el mismo controlador.

### **1.2.5 Metodología**

Este informe de suficiencia profesional está elaborado en tres partes primordiales centrándose en diseño de un control automático para el mejor desempeño, fiable y eficiente en la producción de material estéril por vapor a saturación para dispositivos sanitarios.

#### **1.2.5.1 Marco teórico**

En esta parte se revisaron las teorías requeridas para el buen fin de este proyecto de investigación, conociendo las ciencias de la automatización, control automático, sistemas y métodos de esterilización, monitoreo e instrumentación, las cuales ayudarán a entender y dar claridad a la materia en estudio este informe de suficiencia profesional.

#### **1.2.5.2 Desarrollo de la solución**

Esta etapa del informe de suficiencia profesional es la parte más sobresaliente por lo que es el camino para lograr los objetivos trazados, dentro de las limitaciones especificadas. Por tanto, a su vez esta sub dividida en dos etapas.

- **Análisis**

En esta parte del informe es donde se hizo el análisis detallado de las particularidades que involucran en el problema descrito y es uno de los pasos para el buen diseño del control automatizado. Es donde se recoge la problemática, con fallas frecuentes en la unidad, por ello se hace un levantamiento del desempeño del controlador antes de, para luego proponer una modernización tecnológica en el controlador automatizado, con posibilidades de mejora continua en el mismo controlador.

- **Diseño**

En este transcurso queda en manifiesto, todo el estudio de la subdivisión de la etapa de análisis, teniendo como objetos tangibles: plan de trabajo, esquemas, planos, software; permitiendo como información base en el desarrollo de la siguiente etapa, la implementación.

### **1.2.5.3 Resultados**

Esta parte del informe da a conocer la magnitud con el que se ha logrado los objetivos trazados en el diseño de un control automatizado, quedando plasmado y simulado en el software TIA Portal.

### **1.2.6. Población y muestra**

#### **1.2.6.1. Población**

La población objeto de estudio del presente Informe de Suficiencia Profesional está constituido por todo el sistema de esterilización por vapor de la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María 2018.

#### **1.2.6.2. Muestra**

La muestra en el presente informe está constituida por los dos esterilizadores, actuadores – bomba de vacío, válvulas neumáticas, electroválvulas y ventiladores, sensores de temperatura, presostato o transductor de presión y sensores de nivel, y el software de interfaz HMI.

### **1.2.7. Instrumento de recolección de datos**

En el presente informe se ha utilizado como instrumento de recolección de datos el software HMI, mediante el cual, se efectuó el monitoreo y supervisión e variables, reporte de estados de los componentes y las pruebas obtenidas mediante la simulación con S7.PLCSIM.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1 Antecedentes del proyecto**

##### **2.1.1 Internacionales**

(Guano M. y Rosero G., 2015) en su tesis *Incremento del OEE en una inyectora de plástico basándose en la repotenciación del sistema de control*, su objetivo fue mejorar el OEE (Eficiencia Global del Equipo) de una maquina inyectora de plástico para la producción de armadores con PLC e interfaz HMI, empleando el software TwidoSuite, el protocolo para la conexión de estos dispositivos fue Mosbus TCP con el fin de optimizar las temperaturas, presiones y tiempos, logrando así un incremento en la producción en un horario de trabajo de 9:00am a 3:00pm produciendo 1200 armadores versus 800 armadores antes de, también se ve reflejado los armadores defectuosos en total de producción en 120/24 respectivamente finalmente el autor concluye con incremento en índices de producción de 50% y reducción de pérdidas de materia prima en 80%.

(Jaya y Sánchez, 2017), en su tesis *Diseño del sistema de supervisión y control para la automatización de un horno autoclave con capacidad de 45 toneladas/hora, utilizado en el*

*proceso de esterilización de fruto en una planta extractora de aceite de palma*, tuvo el análisis y preocupación frente a los accidentes y carencia de control automático en el horno autoclave en el proceso de esterilización de fruto de aceite de palma le permitió al autor diseñar y controlar las válvulas y la puerta evitando accidentes y mejorando en la calidad de producción del aceite.

(Andrango y Reyes, 2017), en su proyecto de investigación *Implementación de un sistema de esterilización de envases para productos alimenticios en el centro experimental Salache de la UTC*, el fin fue la implementación con tecnologías adecuadas que permiten estar a la altura de la industrialización moderna, el centro de producción es carente de equipos para la esterilización de envases antes de ser llenado y cerrado hermético, finalmente aplicó el método cuasiexperimental implementando un sistema de esterilización basado en un túnel de *exhausting*, además desarrolló el control de velocidad de la banda transportadora de envases hacia el sistema de esterilización, el sistema cumple las normas de la industria alimentaria (UNE-EN 1672-2 y UNE-EN ISO 12100).

### **2.1.2 Nacionales**

(Guadamur, 2017), en su trabajo de suficiencia profesional *Optimización del proceso de tratamiento biológico de una planta de aguas residuales usando PLC y HMI en el distrito de San Martín de Porres*, tuvo como objetivo optimizar el tratamiento de aguas residuales procedentes del sector doméstico para riego de áreas verdes en el distrito de San Martín de Porres, con el uso de PLC y HMI para el proceso de tratamiento biológico, este equipamiento evalúa la operatividad y seguridad del sistema evitando la contaminación y riesgos biológicos hacia a los colaboradores, la sociedad y el medio ambiente. La optimización mejora el monitoreo y permite visualizar el proceso remotamente.

(Cuno Coaquira, 2015), en su tesis *Automatización y monitoreo de una planta para pasteurización de leche*, el diseño y la implementación del sistema de control, monitoreo y supervisión en la automatización de la planta pasteurizadora bajo los principios fundamentales, sabiendo que en el proceso de pasteurización en nuestro país en la producción de quesos, en su mayoría no tienen sistemas automatizados que brinde eficiencia, con manejo y supervisión de la planta en tiempo real, por tanto desde su implementación es monitoreado desde una computadora personal a través del programa LabView.

(Sarco, 2014), en su tesis *Optimización del control automático e implementación de un SCADA para el proceso de teñido en una autoclave-fábrica inca tops*, el optimizar en el proceso de tintura la curva de teñido temperatura vs tiempo, permitió controlar estos parámetros siguiendo los fundamentos del manual PMBOK® para la correcta ejecución del proyecto y buenos resultados comparando el sistema de control antiguo y el optimizado, mejoró de esta forma en viabilidad económica, eficiencia, seguridad y supervisión en tiempo real de las ocurrencias del autoclave.

## **2.2 Fundamento teórico**

### **2.2.1 Automatización**

La automatización es la aplicación de diversas tecnologías y en diferentes ramas de la ingeniería para el control y monitoreo de procesos, maquinarias y/o unidades que desempeñan o ejecutan tareas repetitivas de forma automática. Dicho de otro modo, la automatización es un sistema que traspasa las labores de manufactura humanas habituales a un compuesto de elementos tecnológicos, de modo que queda en lo mínimo o casi nada la intervención humana. La automatización está compuesta por distintos elementos y el uso de las tecnologías como es la instrumentación requerida que hace

posible valorar las diversas variables en cualquier estado (sólido, líquido, gaseoso...) de la materia de modo tal que es posible obtener parámetros de presión, temperatura, volumen, nivel, peso, etc.

Según (Sánchez, C., 2017) define a la automatización “como el proceso que permite que las máquinas realicen un número predeterminado de operaciones ordenadas, a través del uso de dispositivos y sistemas que facilitan el control de diferentes variables del proceso, limitando a su vez la intervención humana. Por lo general, un proceso de automatización industrial es generado por la convergencia de tres tecnologías: mecánica, electrónica e informática, las cuales les dan dirección a los procesos tecnológicos, asegurando su optimización, en forma de sistemas automáticos” (p. 1).

Los sistemas automatizados tienen dos partes primordiales:

- La parte de Mando
- La parte Operativa

#### **2.2.1.1 La parte de mando**

En un proceso de manufactura automatizado el autómatas programable es la medula de todo el sistema que se pudiera automatizar, con capacidad de comunicarse con los componentes o axiomas que forman un sistema automatizado. Según (Ramos & Vargas, 2016) “la parte de mando es el cerebro que controla a la parte operativa algunos de ellos pueden ser un como un controlador lógico programable, una tarjeta de adquisición de datos, un micro controlador” (pág. 34), desde donde la acción humana interviene de forma simple y segura.

#### **2.2.1.2 La parte operativa**

Es la acción realizada en forma directa sobre la unidad o máquina, en referencia son los componentes que hacen posible que una máquina funcione realizando operaciones pre establecidas, los actuadores y los sensores son los componentes que conforman la parte

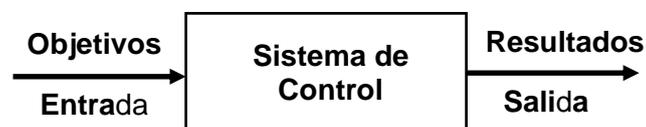
operativa que hacen posible que una unidad realice los requisitos pre establecidos, entre los actuadores podemos citar: motores, relés, cilindros, válvulas, resistencias, etc. y entre los sensores podemos citar: fotodiodos, contactos, pt100, transductor de presión, etc. según (Ramos & Vargas, 2016) “La parte operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina” (pág. 34), la intervención humana será con fines puntuales.

### **2.2.1.3 Sistemas de control**

Según los objetivos deseados con el fin de controlar un sistema, previamente definidos bajo ciertos parámetros el sistema de control se define como un conjunto de dispositivos que funcionan de manera conjunta y concatenada proporcionando una salida o respuesta deseada. Según (Bolton, 2013) “Un sistema de control puede considerarse como un sistema que se puede utilizar para: 1 Controlar algo variable de algún valor particular, por ejemplo, un sistema central de calentamiento donde la temperatura se controla para un valor particular” (pág. 9). Estos sistemas de control trabajan con algunos componentes para lograr el objetivo que es controlar adecuadamente.

Los sistemas de control tienen tres componentes básicos:

- Los objetivos de control (entradas).
- Los componentes del Sistema de Control
- Los resultados (salida)



*Figura 2: Sistema de Control con sus componentes básicos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Los objetivos de control son las señales o variables que entran al sistema, los resultados aquellas señales o variables ya en control, generalizando los sistemas de control, controlan de forma secuencial actuando sobre los componentes de señal entrante. Según (Ogata,

2010) “El bloque *funcional* o simplemente *bloque* es un símbolo para representar la operación matemática que sobre la señal de entrada hace el bloque para producir la salida” (pág. 18). Estos bloques son representados de la siguiente forma.

#### **2.2.1.4 Fundamento histórico**

El inicio de la primera revolución industrial a partir 1760 y los avances anteriores, a éste proceso conlleva al control automático un hito fundamental en el progreso de la humanidad, según (Ogata, 2010) “El primer trabajo significativo en control automático fue el regulador de velocidad centrífugo de James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor, en el siglo dieciocho” (pág. 1). Hasta ese entonces el sistema control de velocidad de la máquina vapor solo fueron intentos, pero avances fundamentales.



*Figura 3: Regulador de velocidad centrífugo de James Watt.*

Fuente: (Conde, 2013)

También Minorsky, Heslen y Nyquist entre otros personajes en el siglo XVIII tuvieron un gran aporte en los inicios del progreso de la teoría de control. Quedando evidencia en el año 1992 Minorsky hizo trabajo dedicado al control para dirigir embarcaciones, demostrando que las ecuaciones diferenciales pueden determinar la estabilidad que

gobiernan el sistema. En el año 1932 el sistema de lazo cerrado, con el experimento del lazo abierto en estado estable con entrada sinodal, fue diseñado por Nyquist la estabilidad con un procedimiento aparentemente simple. En el año 1934 Hazen hace posible la existencia de los servomecanismos para las unidades de sistemas de control de posición, estos servomecanismos capaces con exactitud seguir una entrada cambiante. En 1938 Hendrik Wade Bode crea un diagrama conocido como el diagrama de Bode, dando lugar la respuesta en frecuencia de los sistemas de una manera clara, este trabajo en los Sistemas de Control Automático se introdujo para estudiar la estabilidad de los sistemas. Los años cuarenta traen consigo para los ingenieros los métodos de la respuesta en frecuencia diseñar los sistemas de control lineales en lazo cerrado cumpliendo los requisitos de desempeño, los finales de los cuarentas y los inicios de los cincuentas se logró por completo el desarrollo del método de lugar geométrico de las raíces propuesto por Evans.

Conforme los años pasan la evolución de grades empresas generan plantas modernas con muchas entradas y salidas convirtiéndose éstas cada vez más complejas por tanto la descripción de un sistema de control moderno requiere como consecuencia una cantidad de ecuaciones más grandes. En 1960 en la ciudad Moscú se celebra la primera conferencia de la Federación internacional de Control Automática (IFAC). Durante los años comprendidos entre 1960 y 1980, se investiga con profundidad el control óptimo en sistemas determinísticos como también estocásticos y control adaptable debido a la complejidad. Según (Ogata, 2010) “La teoría de control moderna simplificó el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se quiere controlar” (pág. 2). Pero la estabilidad de un sistema dependerá del error entre el sistema real y el modelo.

El control automático es parte esencial de los procesos de la industria moderna y de manufactura haciendo posible el control y medición de los fenómenos como: presión, tiempo, temperatura, humedad relativa, viscosidad, flujo, etc. por consiguiente, el control

automático juega un papel muy importante en el comportamiento óptimo de los sistemas control dinámicos con fines de mejora de la productividad manteniendo la integridad con seguridad de los productos, equipos y personas, en las operaciones repetitivas.

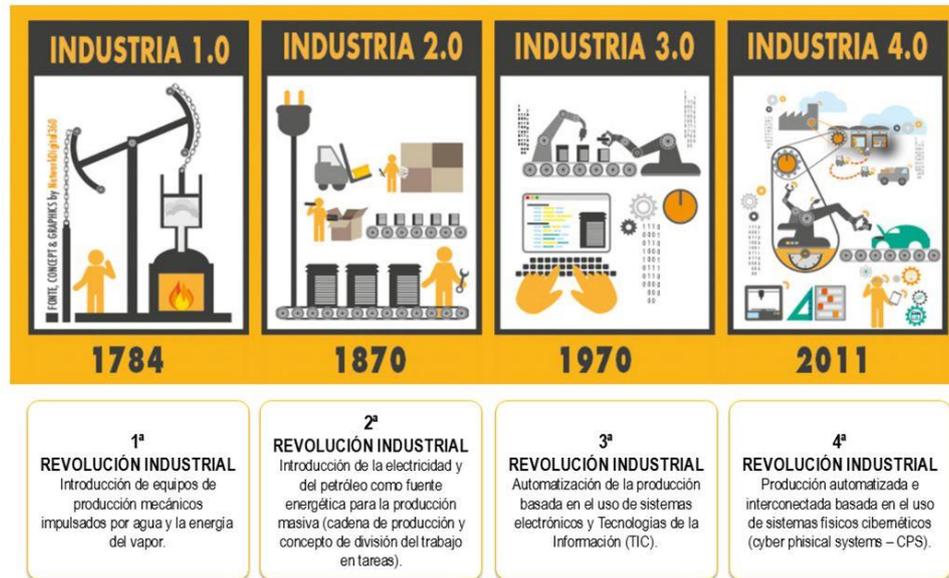


Figura 4: Industria 4.0, En el umbral de la cuarta revolución industrial.

Fuente: (De los Ríos, 2018)

### 2.2.1.5 Definiciones

A continuación, el resumen de los conceptos con el fin de entender mejor los sistemas de control.

- **Variable controlada:** Es la cantidad o condición que se mide y controla. Esta variable es la salida (el resultado) del sistema.
- **Variable manipulada:** Es la cantidad o condición que el controlador modifica para efectuar el valor de la variable controlada. Corrige la desviación del valor medido a partir del valor requerido.
- **Sistemas:** Es el conjunto de componentes que funcionan de manera conjunta para realizar algún objetivo determinado. De modo que implica en sistemas físicos, biológicos, económicos, etc.

- **Planta:** Es un conjunto de partes de una máquina, con propósito de ejecutar una operación en particular de acuerdo a las necesidades. Para el caso de estudio, planta será un objeto en estudio que se quiera controlar como sistemas mecánicos, autoclave etc.
- **Procesos:** Es una operación que se va a controlar progresivamente, siguiendo una serie de cambios concatenados, estos pasos conducen a un resultado determinados.
- **Perturbaciones:** Las perturbaciones son señales que afectan negativamente la variable salida de un sistema de control y hay dos tipos de perturbación externa e interna; externa es la causante desde entorno cercano del sistema de control y la perturbación interna es la que es generado dentro y/o por el propio sistema.

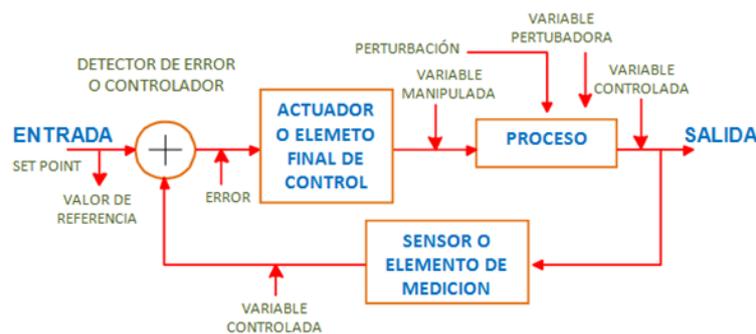


Figura 1.3. - Diagrama de Bloques General de un control Automático

Figura 5: Diagrama de Bloques de Control general descriptivo de un Control Automático.

Fuente: (Expert Software Applications srl, 2018)

### 2.2.1.6 Sistemas de control de lazo abierto

El comportamiento de los sistemas de control de lazo abierto es cuando los valores en las salidas de la planta no modifican las señales entrantes. Dicho de otro modo las señales salientes no tiene ninguna influencia sobre las señales de entrada, los sistemas de control de lazo abierto según (Romera, Lorite, & Montoro, 1994), “se caracteriza por que la información de variables que controlan el proceso circulan en una sola dirección, desde el sistema de control al proceso” (pág. 1). Si se quiere la exactitud de control de salida

dependerá de una buena programación previa, además depende de una buena calibración del controlador.

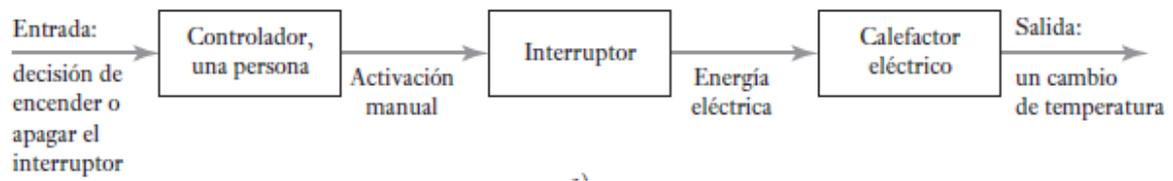


Figura 6: Ejemplo de control de lazo abierto, considere un calefactor eléctrico.

Fuente: (Bolton, 2013)

### 2.2.1.7 Sistemas de control de lazo cerrado

El comportamiento de los sistemas de control de lazo cerrado es cuando existe una retroalimentación de la señal de salida. La señal de salida es comparada con la señal de entrada y tiene un comportamiento muy estable frente a las perturbaciones, el control de lazo cerrado según (Romera, Lorite, & Montoro, 1994), “se caracteriza por que existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a este último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso” (pág. 3) estos sistemas también se caracterizan por ser complejas.

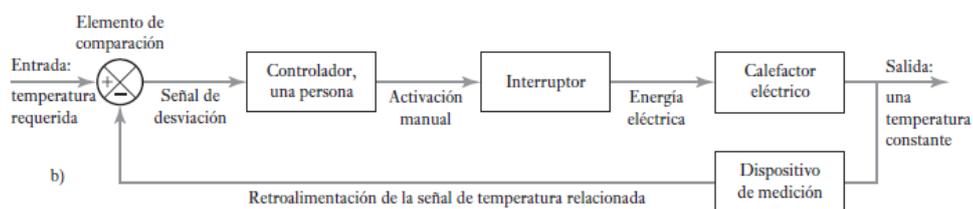


Figura 7: Ejemplo de control de lazo cerrado, considere un calefactor eléctrico.

Fuente: (Bolton, 2013)

### **2.2.1.8 Sistemas de control según la naturaleza de las señales que intervienen en el proceso**

- **Sistemas analógicos:** En estos sistemas de control las señales a tratar son señales continuas los cuales son tipos de señales generados por algún tipo de fenómeno electromagnético y que se pueden representar a través de una función matemática continua con variable en su amplitud y periodo representando estos datos en función del tiempo, Según: (Bolton, 2013) “En los sistemas análogos todas las señales son funciones continuas de tiempo y es el tamaño de la señal la que es una medida de la variable”. (pág. 16). Y representan magnitudes físicas como intensidad, tensión, presión, temperatura, velocidad, potencia, etc.
- **Sistemas digitales:** En estos sistemas de control las señales a tratar son señales binarias, representadas con variables lógicas o bits cuyos valores es entre 0 y 1; dicho otro modo los controladores digitales son pequeñas instalaciones inteligentes compuestas por una entrada de sensor, un indicador digital, una salida de regulación y son configurables según requerimiento. Según (Bolton, 2013) “Los sistemas digitales pueden considerarse como una secuencia de señales de encendido/apagado, el valor de la variable que se representa por la secuencia de pulsos de encendido/apagado” (pág. 16). Cuando una variable consta de un solo bit son llamados *automatismos lógicos*, en cambio cuando una variable procesa señales de varios bits en representación de valores numéricos son llamados automatismos digitales.

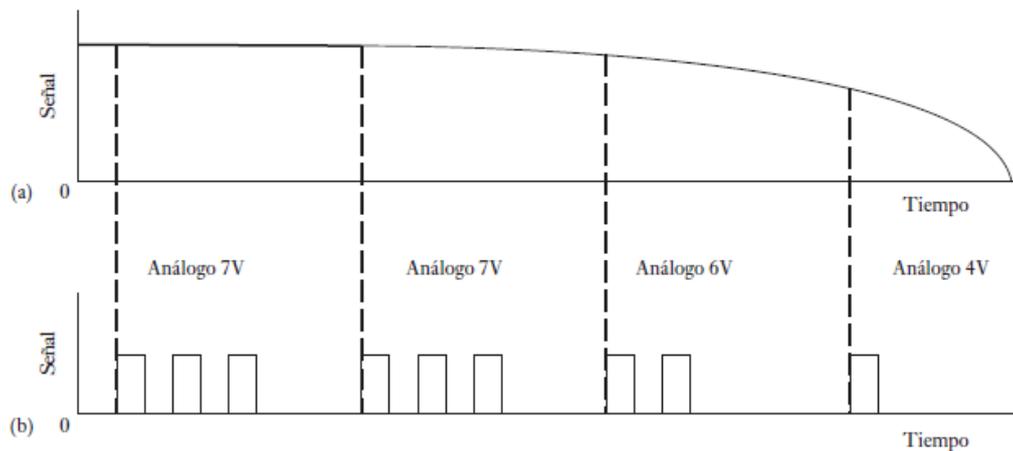


Figura 8: Señales: (a) análoga, y (b) la versión digital de la señal análoga que muestra la corriente de señales muestreadas.

Fuente: (Bolton, 2013)

- **Sistemas híbridos analógico- digitales:** En estos sistemas de control las señales a tratar son señales continuas como también las señales binarias.
- **Sistemas de control clásicos:** Denominados así, cuando la acción de la señal de salida no tiene ningún efecto sobre la acción de control, esto quiere decir que no hay comparación entre la señal de salida con la señal de entrada, por tanto, para una señal de entrada corresponde una condición de operación fija. Por ello la precisión dependerá de la experiencia del operador cuya función es controlar el sistema.
- **Sistemas de control moderno:** Método por el cual la respuesta de este sistema varia de forma automática basándose en los cambios de las condiciones dentro del proceso, Según (Aliaga, C. et al, 2018) “Un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema, la cual proporcionará

una respuesta deseada del mismo sistema” (pág. 6). Aplicado en una infinidad de aplicaciones de la ciencia y la ingeniería.

- **Sistemas de control de lógica difusa:** Este sistema de control es aplicado a través de los conceptos de inteligencia artificial de tal modo que son capaces de convertir una muestra de señal real a números difusos, con el fin de tratar según las reglas de inferencia, logrando de este modo estabilizar el sistema sin requerimiento de fijar un punto de referencia.
- **Sistema de control neuronales:** Estos sistemas neuronales artificiales son diseñados para actuar, tal como lo hace el actuar del cerebro humano, formados por elementos conectados en red en forma simple y es posible entrenarlos, Según (Puente, 2016) “Una red neuronal artificial puede definirse como un conjunto de elementos interconectados entre sí con la finalidad de recibir y emitir señales. Cada conexión está asociada a un peso” (pág. 114), estos pesos representan una información que serán utilizadas por cada una de las neuronas que resuelven un problema específico, y como efecto realizan funciones simples hasta complejas con aplicación en diversos campos.

### **2.2.1.9 Tipos de controladores**

Existen muchas y pueden ser de tipo manual, neumático, electrónico; los controladores electrónicos de uso frecuente son: Computadoras de adquisición de datos, PLC (Controlador Lógico Programable), microcontroladores PIC (Circuito Integrado Programables). Según (Sanchis, Romero, & Ariño, 2010) “Microcontrolador. Son circuitos integrados (“chips”) programables, que incluyen en su interior un microprocesador y la memoria y los periféricos necesarios” (pág. 8) El controlador más popular es el PLC, estos equipos electrónicos se fundamentan en microprocesadores, haciendo uso de las

memorias programables y regrabables (RAM), aquí es donde están almacenados las instrucciones en forma de algoritmos que permiten seguir una lógica de control.

El controlador constituye un elemento fundamental en el sistema de control pues será quien determina el comportamiento del bucle, pues condiciona la operación del componente del actuador en función del error obtenido. Se denomina acción de control a la forma en que el regulador genera la señal de control, llamados en algunos casos como acciones básicas de control.

#### **2.2.1.10 Controlador de acción proporcional (P)**

La señal de accionamiento es proporcional a la señal de error del sistema, entonces cuando la señal de error del sistema es grande, el valor de la variable regulada es grande y por el contrario cuando la señal de error del sistema es pequeña, el valor de la variable regulada es pequeña. Es el tipo de control más simple de los existentes, que tiene una función de amplificar la señal de error antes de suministrar a la planta.

La función de transferencia de este tipo de control se reduce a una variable real, denominada  $K_p$  que determina el nivel de amplificación del componente de control.

Si  $u(t)$  es la señal de salida (salida del regulador) y  $e(t)$  es la señal de error (entrada del regulador), la ecuación del control proporcional será:  $u(t) = K_p e(t)$ ,

*Ecuación 1:* (Ogata, 2010, pág. 24) o “bien, en cantidades transformadas por el método de Laplace”

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde  $U(s)$  es la salida del controlador,  $E(s)$  la señal de error y  $K_p$  la señal de ganancia del bloque de control. Teóricamente si la señal de error es cero, también la señal de salida del controlador será cero, en un tiempo instantáneo, por ende, el tiempo no interviene en el control, pero en la práctica cuando la variación de la señal de entrada es rápida, el controlador sigue una trayectoria exponencial hasta alcanzar la salida deseada.

### **2.2.1.11 Controlador de acción integral (I)**

En este tipo de control, la señal de salida varía en función de la variación del tiempo en que se mantiene la misma, también se expresa que el valor de la acción de la salida del controlador  $u(t)$  es directamente proporcional a la señal de error  $e(t)$ .

Según (Ogata, 2010, pág. 24) “Es decir”,

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

O bien

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

Ecuación 2: (Ogata, 2010, pág. 24) “donde  $K_i$  es una constante ajustable. La función de transferencia del controlador integral es”.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

$u(t) =$  Salida integral,

$e(t) =$  Error (Diferencia entre medición y PC). PC (Punto de Consigna)

### **2.2.1.12 Controlador de acción proporcional e integral (PI)**

Al no haber controlador únicamente con acción integral, en este caso se asocia con reguladores de acción proporcional, se define mediante:

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

Ecuación 3: (Ogata, 2010, pág. 25) “o la función de transferencia del controlador es”

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Donde  $T_i$  es tiempo integral.

### **2.2.1.13 Controlador de acción proporcional y derivativa (PD)**

En el controlador PD se debe tomar en cuenta que la derivada de una constante es cero y por ello en estos casos el control derivativo no surte ningún efecto, solamente surtirá efecto siempre en cuando que la señal de error varíe en el tiempo en forma continua. Según (Bolton, 2013) “El control derivativo nunca se utiliza solo ya que no es capaz de producir una salida cuando hay una señal de error constante, por lo que no es posible una corrección” (pág. 341). Por ese motivo, invariablemente su uso es junto con el control proporcional.

Como consecuencia en el análisis, este tipo de controlador ante una señal de error de tipo escalón estaría demás, en cambio representando la salida del controlador en función de una señal de entrada de tipo rampa unitaria surte efecto anticipando a la propia señal de error, por este motivo al tiempo  $T_d$  se le conoce tiempo de anticipación o de adelanto. Por las descripciones anteriores este tipo de controlador es aplicable en sistemas de control de acción rápida por lo que la señal salida está en cambio constante se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Ecuación 4: (Ogata, 2010, pág. 25) “y la función de transferencia es”.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$$

Donde  $T_d$  es el tiempo derivativo.

### **2.2.1.14 Controlador de acción proporcional, integrativo y derivativa (PID)**

El controlador PID emplea las características de los tres tipos de controladores o reguladores anteriores, si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa. Posee una ventaja de tener una respuesta más rápida y una inmediata compensación de la señal de error en caso de cambios bruscos o perturbaciones. Según

(Bolton, 2013) “Al combinar los tres modos de control (proporcional, integral y derivativo) se obtiene un controlador que no tiene desviación en el error y disminuye la tendencia a producir oscilaciones” (pág. 344). La desventaja es que el bucle de regulación es propenso a oscilar y los ajustes se hacen difíciles de realizar, en el caso de una maniobra brusca, el control derivativo tomara la máxima relevancia, quedando casi sin efecto la acción proporcional e integral, lo que provoca poca precisión en una maniobra y la ecuación está dada por.

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

Ecuación 5: (Ogata, 2010, pág. 25) “y la función de transferencia es”

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

### **2.2.1.15 Autómata programable industrial (API) o controlador lógico programable (PLC)**

El PLC (*Programmable Logic Controller*), por sus siglas en inglés es un dispositivo electrónico que es programable para ejecutar acciones de control automáticamente. Según (Martín & García, 2009) “Un autómata programable, también denominado PLC (Controlador Lógico Programable), es un dispositivo electrónico capaz de gestionar los circuitos de automatismos industriales de forma programada” (pág. 258). Un PLC es un cerebro que activa partes o dispositivos de una maquinaria que ejecutan tareas que pueden ser inseguras, muy lentas o imperfectas para el ser humano. Los PLC son personalizables y su aplicación resuelve procesos y secuencias de cualquier tipo de maquinaria, en el sector industrial, hasta llegar estas aplicaciones a niveles domésticas como también comerciales con mucho auge en estos tiempos. Estos dispositivos están desplazando a los

complejos y costosas tarjetas o microcomputadores en ascensores, escaleras mecánicas, hornos, sistemas de bombeo etc. etc.

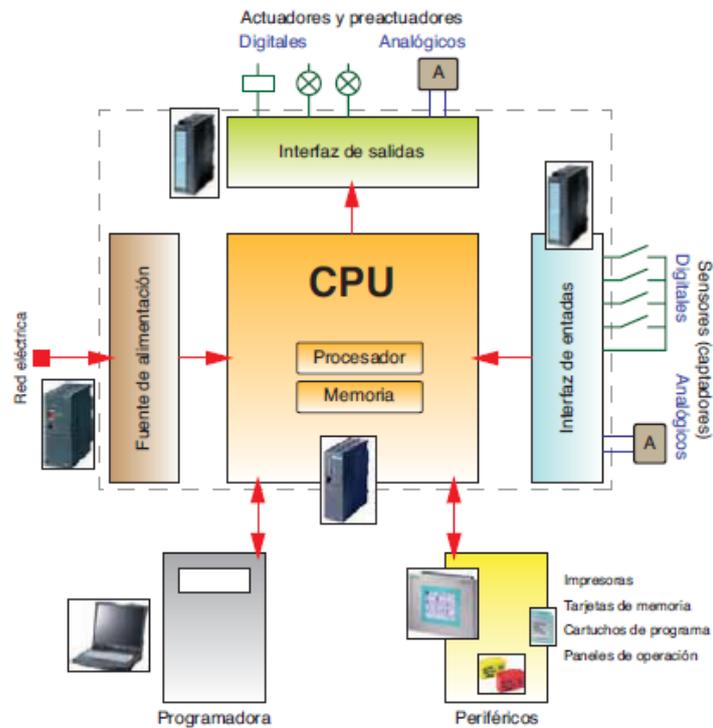


Figura 9: Estructura básica de un autómata programable.

Fuente: (Martín & García, 2009)

- **La importancia de los PLC en la industria:** Los primeros PLC fueron diseñados para reemplazar los automatismos industriales de tipo cableado pero estos automatismos con la evolución de la tecnología han ido ganando complejidad y lo hace también en la lógica cableada y cantidad de elementos a utilizar (relés, temporizadores, contadores, etc.), frente a estos problemas sustituyen al circuito cableado los autómatas programables de tal forma que la modificación en el funcionamiento del proceso se hace en el PLC y no requiere mover el cableado, la modificación en sí es mínima. Según (Martín & García, 2009) “Una forma más flexible y económica de realizar la maniobra de un automatismo industrial, es

sustituir el circuito cableado de mando por un autómata programable” (pág. 259). Los datos se procesan como historias estadísticas para el registro, validación y toma de decisiones, como lo hace en la industria urbótica desde una sala situacional de una ciudad, inmótica en la industria y domótica en hogares.

- **Ventajas del sistema basado en PLC:** Por muchos aportes del PLC en la automatización industrial y debido a la variedad, modelos y marcas existentes en el mercado, resulta muy ventajoso en el área de la manufactura, debido a que su implementación es sencilla, la puesta en marcha y el tiempo de ejecución son menores en comparación a los automatismos de tipo cableado. Según (Bolton, 2013) “Los PLC tienen la gran ventaja de que permiten modificar un sistema de control sin tener que volver a alambrear las conexiones de los dispositivos de entrada y salida” (pág. 467); será suficiente que el operador digite en un teclado las instrucciones que correspondan. Los PLC se pueden modificar sus funciones incluso desde un acceso remoto, el mantenimiento resulta más económico y no requiere parar la producción, pero se debe asegurar la asistencia técnica del proveedor y un buen especialista.



*Figura 10: Diferentes tipos de PLC.*

Fuente: (Gamboa, 2011)

### 2.2.1.15.1 Clasificación de autómatas programables

- **Compactos:** Tiene un distintivo por presentar en un mismo bloque todos sus elementos como: fuente de alimentación, E/S, CPU, etc. Según (Martín & García, 2009) los autómatas compactos, “Son aquellos que contienen todos sus elementos, E/S, CPU, fuente de alimentación, etc., en una misma envolvente” (pág. 260). Son equipos de gama baja y funciones muy limitadas o básicas.

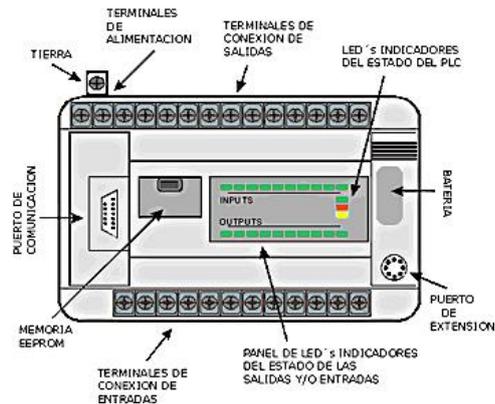


Figura 11: Un modelo de PLC compacto.

Fuente: (2023 by The Book Love, 2018)

- **Semicompactos:** Tiene el distintivo por separar alguno de sus elementos del resto del autómata. Según (Martín & García, 2009) “Son aquellos en los que alguno de sus elementos está fuera de la envolvente principal” (pág. 261). Este tipo de autómata son de gama media.



Figura 12: Un modelo de PLC semicompacto.

Fuente: (EXSOL S.A., 2017)

- **Modulares:** Tiene el distintivo de que cada uno sus elementos que componen el autómata como: fuente de alimentación, E/S, CPU, etc., tiene un módulo adjunto en un rack. Según (Martín & García, 2009) “Cada uno de los elementos que lo forman está en una envolvente diferente que se instalan sobre un *rack* común” (pág. 261). Son considerados como autómatas de gama alta por tanto el costo de estas unidades es cuestión de considerarse, pero tiene funcionalidades casi ilimitadas.

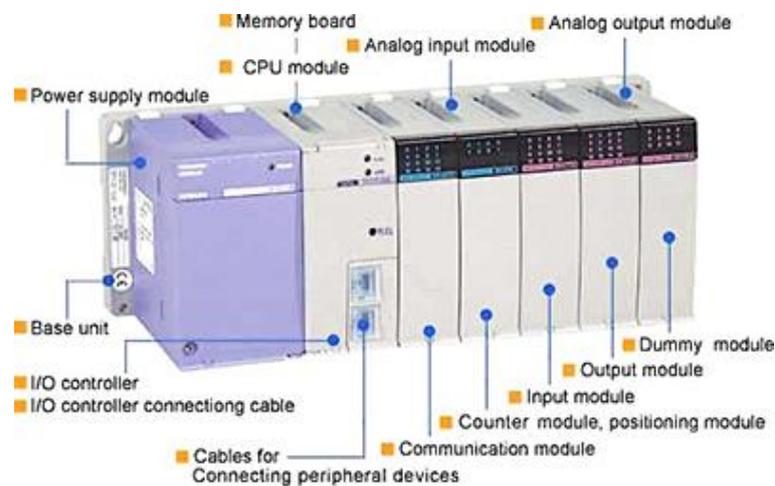


Figura 13: Un módulo de PLC modular.

Fuente: (Cast, 2017)

### 2.2.1.15.2 Aspectos para elegir un autómata PLC

- **Entradas / salidas (E/S):** Es la que establece la comunicación entre el autómata y la planta. Según (Balcells & Romeral, 1997) “Para ello, se conectan, por una parte, con las señales de proceso a través de los bornes previstos y, por otra, con el bus interno del autómata” (pág. 68). Al iniciar un proyecto el primer punto a tener en cuenta será la cantidad de entradas y salidas (E/S) requeridos para el proyecto, tanto entradas digitales como analógicas. Para ello el análisis del proyecto dará una

estimación de la cantidad de elementos con que cuenta el proyecto, desde ya se determina la cantidad de E/S con un margen de seguridad de escalamiento, esto con el fin que al momento de puesta en marcha falte alguna E/S que en principio no ha sido considerado o que a futuro se agregue algún sensor y/o actuador.

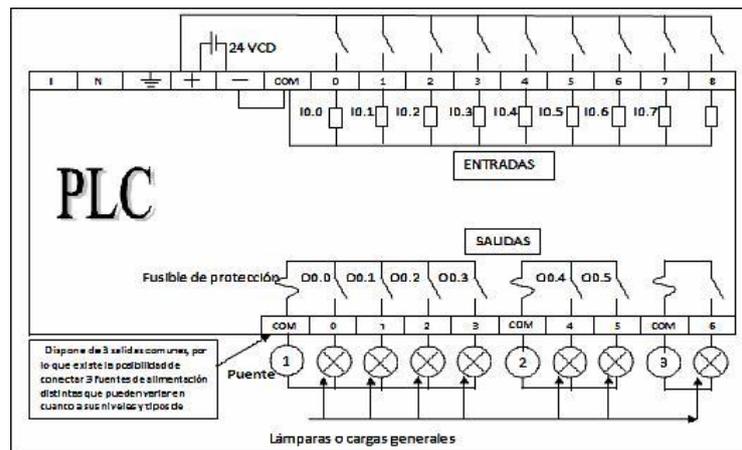


Figura 14: Entradas y salidas de un PLC.

Fuente: (Martinez, 2018)

- Capacidad de programa y memoria:** Es la cantidad de bits o el estado de variables que puede almacenar el autómata, con la magnitud del programa, en el desarrollo de cualquier aplicación. Según (Martín & García, 2009) “Los autómatas programables almacenan los datos que procesan en diferentes zonas de memoria. El desarrollo de programas requiere conocer adecuadamente el acceso a estas zonas, tanto para escribir como para leer datos” (pág. 288). Se debe tener en consideración la cantidad de E/S, estos datos determinan la capacidad del programa, es el aspecto más relevante a la hora de elección de un autómata.

Zonas de memoria	Identificador	Procesan:
Entradas	I	Entradas físicas
Salidas	Q	Salidas físicas
Marcas	M	Variables de procesamiento interno
Temporizadores	T	Valores de tiempo
Contadores	C	Valores de cómputo
Variables de sistema	SM	Operaciones propias del sistema

*Figura 15: Memorias de un autómata programable.*

Fuente: (Martín & García, 2009).

- Comunicaciones:** Es el intercambio de datos entre diferentes elementos que conforman un autómata en una red industrial ya sea con otros PLC, variadores de velocidad o frecuencia, sensores, actuadores, etc. la central remota es la encargada de procesar estos elementos y toma decisiones. La fábrica Smart es la fábrica del futuro hoy en día en su etapa inicial desde el año 2011, o simplemente llamado Industry 4.0, según (Info PLC, 2014) “las comunicaciones son la piedra angular ya que poder acceder desde los sistemas de supervisión SCADA hasta el autómata más pequeño de la fábrica va a ser necesario” (pág. 1). Se ha logrado en la actualidad que hasta los PLC de menor rango se pueden comunicar por internet, bajo un estudio ver la posibilidad si los sistemas HMI es factible la instalación de periferia descentralizada con E/S desde sitio remoto.



*Figura 16: Sistema de comunicaciones del PLC.*

Fuente: (Info PLC, 2014)

- Escalabilidad:** Tenemos la posibilidad expandir los módulos del equipo con E/S de comunicación, por ello será de importancia ajustar el rango y la potencia del autómeta, por tanto serán flexibles a las necesidades del proyecto, según (Info PLC, 2014) “El aspecto de la escalabilidad, de poder ir incrementando las características del autómeta es importante para algunos proyectos” (pág. 1). Las necesidades del proyecto en un futuro pueden ser mayores por tanto el aspecto de escalabilidad será de importancia a tomar en cuenta.



*Figura 17: Diagrama representativo de escalabilidad.*

Fuente: (4r Soluciones, 2013)

- Control de movimiento:** El control de movimiento es el caso del movimiento de los motores servo y/o paso a paso, para la moción de una determinada carga, estos autómatas son capaces de proporcionar control con precisión de par, velocidad y posición, según (Info PLC, 2014), “Actualmente la automatización de maquinaria va incorporando más sistema de Servo Motores” (pág. 1). En su mayoría los PLC incorporan E/S de pulsos y también tarjetas especiales para el control de servomotores.

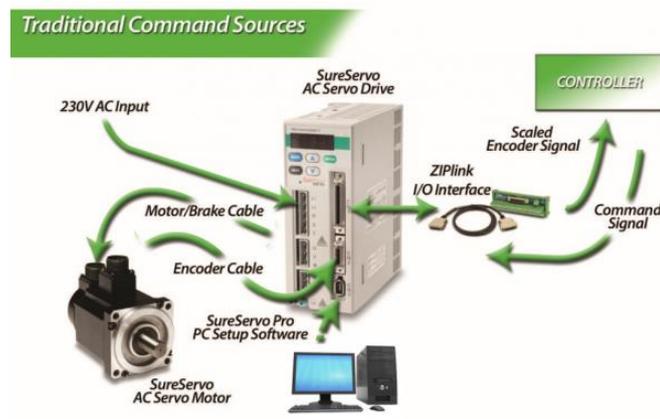


Figura 18: Sistema de control de movimiento básicos: encoder, variador y motor.

Fuente: (AutomationDirect.com, 2018)

- Seguridad:** Si se incorpora el PLC de seguridad, con las bondades de diagnóstico detectará fallos internos del hardware y/o firmware, haciendo posible que un fallo en el PLC no cause una situación que afecte al sistema, según (Enertria, S.L., 2016) “Téngase en cuenta que el PLC de seguridad es una subsistema de la Función Instrumentada de Seguridad (sensor + PLC + actuador) cuyo diseño debe realizarse para que cumpla determinado nivel SIL” (pág. 1). Lo que no se quiere, es que no exista fallos repentinos y los gastos que conllevan como consecuencia.



Figura 19: Rutinas de autodiagnóstico de un PLC de seguridad.

Fuente: (Enertria, S.L., 2016)

- **Software:** El sistema operativo y el entorno de programación, son los componentes básicos como software en un autómata, capaces de soportar de uno a más lenguajes de programación, a estos componentes básicos se le puede agregar los programas de visualización, comunicación, etc.

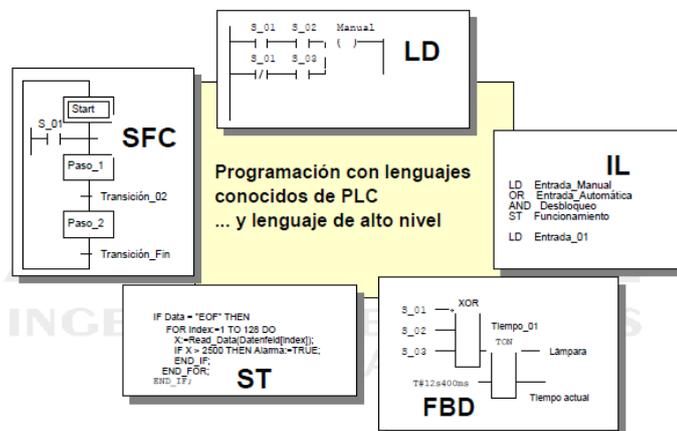


Figura 20: Lenguajes de programación.

Fuente: (Mateos, 2018)

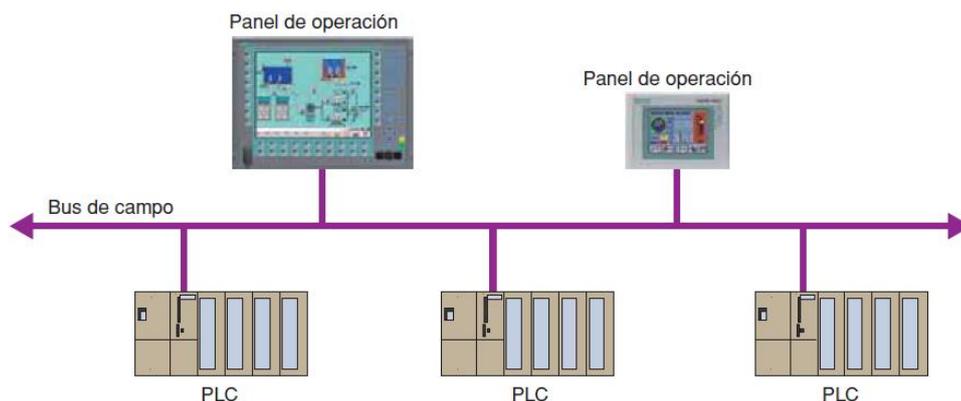
- **Servicio técnico:** Aspecto fundamental, contar con un servicio técnico para el apoyo y asesoramiento, si un PLC está puesta en marcha y ocurre un problema

inusual, si no se dispone de un servicio técnico se tendrá consecuencias adversas en el funcionamiento de la unidad y afectará la producción. Por ello en el comercio de un PLC el usuario debe exigir o si cuente con apoyo técnico tanto dentro de la garantía o fuera del mismo.

### **2.2.1.16 Interfaz hombre-máquina (HMI)**

Son elementos de comunicación hombre-máquina, que también son denominados MMI (Man Machine Interface). Son equipos periféricos capaces de conectarse al autómata o a la red de comunicación industrial. Según (Ing. Punzenberger COPA-DATA GmbH, 2018) "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo". Cumple una misión como facilitador en la labor del usuario en tareas de grabación, presentación; cumple algunas funciones como modificador de parámetros, mensajes de alarmas, visualización del estado del proceso y opciones acción en E/S e impresión de datos.

El seguimiento del proceso es visualizado mediante mensajes de texto o elementos gráficos que actúan como Paneles de Operación (OP).



*Figura 21: Paneles de operación en una red de autómatas programables.*

Fuente: (Martín & García, 2009)

## 2.2.2 Esterilización

La esterilización es la destrucción de todo tipo microorganismos además las esporas. Según (Huys, 1999) “La Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) y otras organizaciones médicas, recomiendan que todo instrumento que posiblemente llegue a estar en contacto con los líquidos corporales internos, sea esterilizado antes de cada uso”. (pág. 74). La esterilización se debe llevar a cabo en cualquiera de los métodos, a alta temperatura o baja temperatura, según indicación del fabricante de material a esterilizar. El proceso de esterilización comienza con la limpieza y descontaminación, este proceso indica el nivel limpieza del objeto. Según (Prof. Kaiser, 2010) “Los procesos de esterilización por vapor vienen utilizándose durante más de 100 años en servicios de cuidado de la salud, representando más del 90% de los procesos de esterilización en los hospitales” (pág. 2). Como también en otros servicios del sector salud.



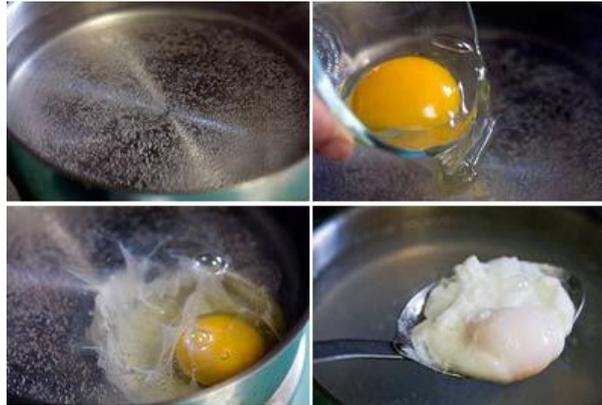
*Figura 22: Disciplinas que aportan a la Esterilización.*

Fuente: (Huys, 1999)

### 2.2.2.1 Formas de destrucción por calor

- **Coagulación (adhesión):** Es el medio por el cual, se desnaturalizan las proteínas del protoplasma celular, este proceso se puede demostrar poniendo a calentar una olla con agua y huevo sin cáscara, observe que a medida que el agua calienta el

huevo gradualmente se pone blanco, con el paso del tiempo comienza a adherirse y finalmente se endurece. Según (Huys, 1999) “Este proceso de adhesión se llama *coagulación*, se produce ya alrededor de los 52 °C; a esta temperatura las proteínas en el protoplasma comienzan a desnaturalizarse y el huevo muere” (pág. 90). Este mismo fenómeno ocurre con las células del cuerpo humano y también con los de los microorganismos.



*Figura 23: El huevo al calentar en agua se vuelve blanco, se coagula.*

Fuente: (PunBB, 2012)

**Oxidación (quemadura):** Para experimentar la desnaturalización de las proteínas celulares por oxidación ponga a freír otro huevo, en este proceso ocurre lo mismo con la coagulación, pero si se continúa friendo, el huevo comenzará a quemarse. Según (Huys, 1999). “Este proceso de quemadura se presenta a temperaturas mucho más altas que el proceso de coagulación. También es conocido como *oxidación*” (pág. 91). En la siguiente imagen se aprecia que el huevo comienza a quemarse desde los bordes esto a temperaturas muy altas.



*Figura 24: El huevo al freír a mayor temperatura se quema, se conoce como oxidación.*

Fuente: (Alimentos de Lolo, 2015)

Podemos concluir que, a mayor presencia de humedad, la muerte de los microorganismos ocurre a una temperatura mucho más baja y en tiempo mucho más corto que en ausencia de humedad. Según (Huys, 1999) “Cuando los microorganismos son expuestos a calor húmedo, la coagulación se iniciará a temperaturas relativamente bajas”. (pág. 92)

Los microorganismos no poseen una resistencia igual frente al calor, por tanto, en una población de microorganismos no todos morirán al mismo tiempo.

#### **2.2.2.2 Autoclave**

La autoclave por vapor a saturación sanitario es un dispositivo que conforma una cámara y recámara herméticamente cerrada para realizar procesos de esterilización bajo estándares vigentes, por tanto, será de mucha importancia asegurar la condición de los parámetros de esterilización (tiempo, temperatura y presión) en la cámara. Las autoclaves al ser una de las alternativas más usadas para el proceso de esterilización en el mundo. Según (Viola, Restrepo, & Gómez, 2018) “Sin embargo, el comportamiento dinámico de una autoclave suele ser complejo, por lo que se requiere emplear estrategias de control

para realizar el proceso de esterilización” (pág. 1). Los controladores PI y PID según los resultados de desempeño serán utilizados para este informe.



*Figura 25: Autoclave por vapor a saturación.*

Fuente: (Medical Expo, 2018)

### **2.2.2.3 Esterilización por vapor a saturación**

El vapor a saturación, en el proceso de esterilización es el agente esterilizante por excelencia. Según (Gómez, 2010) “El vapor continúa siendo uno de los principales portadores de calor para las industrias de procesos, desde alimentación y bebidas hasta biotecnología y farmacéutica. Se usa para calentar procesos, esterilización de productos y equipos, y humidificación del aire” (pág. 6). Es el método más utilizado por sus ventajas de rápida transferencia de calor por convección, en tiempos cortos de esterilización y no deja residuos tóxicos en el material sanitario a esterilizar, el principio de esterilización por vapor a saturación es la relación directamente proporcional entre la presión y la temperatura en un tiempo determinado, gracias al agua por ser un elemento químico muy reactivo, y otro de sus propiedades es la transferencia de calor más eficiente en comparación al aire, según (Universidad Popular del Cesar, 2011) “La presencia de materia orgánica o suciedad en el material interfiere con la acción del vapor caliente por lo que, si el material está sucio,

después del proceso, no se puede garantizar su esterilidad” (pág. 1). El vapor desnaturaliza las proteínas de los microorganismos para poder ser eliminados.



Figura 26 El agua en estado gaseoso vapor.

Fuente: (concepto.de, 2018)

- **Presión**

Es la reacción que actúa un cuerpo sobre otro en relación de peso o fuerza, por una unidad superficial. En el Sistema internacional (SI) de pesos y medidas, la unidad de presión es el Newton por metro cuadrado ( $\frac{N}{m^2}$ ) o el Pascal (Pa).  $1 \frac{N}{m^2} = 1Pa$ .

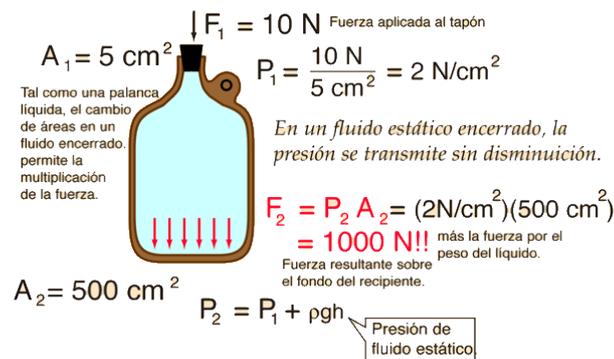


Figura 27: Principio de presión hidráulica.

Fuente: (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu, 2018)

- **Presión atmosférica**

Al estar la tierra, cubierta por una gruesa capa de aire, llamada atmósfera, el aire es una materia que no está exento de ser atraído por la gravedad de la tierra, por tanto tiene un determinado peso aproximado de  $10N$ , formando una columna de aire desde la superficie terrestre hasta donde termina la atmósfera por  $1\text{ cm}^2$  con una masa de un  $1kg$  y tendrá una fuerza equivalente a  $10N$  sobre aquel centímetro cuadrado. Según (Huys, 1999) “Por tanto, el aire causa una presión de  $10\frac{N}{\text{cm}^2}$  o  $100.000\frac{N}{\text{m}^2} = 100.000\text{ Pa} = 100\text{ kPa}$ . A esta presión se le llama la presión atmosférica. Para la presión atmosférica también se utiliza la unidad del Bar:  $1\text{ Bar}$  equivale a  $100.000\text{ Pa}$ ” (pág. 143). A continuación, se visualiza el esquema de la presión atmosférica.

#### PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie ejercida por la masa de aire atmosférico sobre la tierra. El barómetro es su instrumento de medida.

A nivel del mar, la columna de mercurio sube hasta  $760\text{ mm}$  de promedio, equivalente a una presión de  $1024\text{ milibares (mb)}$

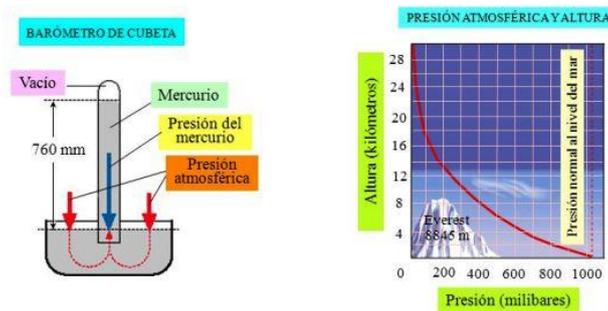


Figura 28: Esquema de la presión atmosférica.

Fuente: (Presión atmosférica, 2018)

- **Presión absoluta**

Si absoluto es ilimitado donde la existencia es por sí misma, sin necesidad de relación alguna, entonces la presión absoluta es la presión real o efectiva aplicado sobre un punto determinado. Según (Huys, 1999) “En la mayoría de las aplicaciones científicas, la presión en recipientes es comparada con la situación en el espacio, donde no hay

presión alguna (vacío absoluto)” (pág. 144). Esta presión es llamada presión absoluta, las unidades de medición de presión absoluta es en  $Pa$  o  $kPa$  así podemos decir que:  $1kPa = 1000 Pa$  o en su equivalente en bar  $1 bar = 100kPa$ .

- **Presión relativa**

La presión en cualquier recipiente se refiere, en suma, a la presión atmosférica, por tanto, si nos referimos a presión, nos estamos refiriendo cuando la presión dentro del recipiente es mayor que la presión atmosférica. Según (Huys, 1999) “Comparamos la presión en el recipiente con la presión en su exterior; la diferencia entre estas dos presiones es la presión relativa (relacionada a con la presión atmosférica)” (pág. 144). Por consecuencia si la presión es menor a la presión atmosférica se considera una presión negativa también llamada vacío. En algunas referencias, cualquier presión bajo la presión atmosférica es llamada vacío.

La presión relativa también es conocida como la presión manométrica, por ello la presión manométrica es la presión sobre la presión atmosférica  $\rightarrow (0 Bar_m)$ , el indicador físico, es decir, el manómetro es aproximadamente  $1.013Bar_{abs} \approx 100kPa$ .

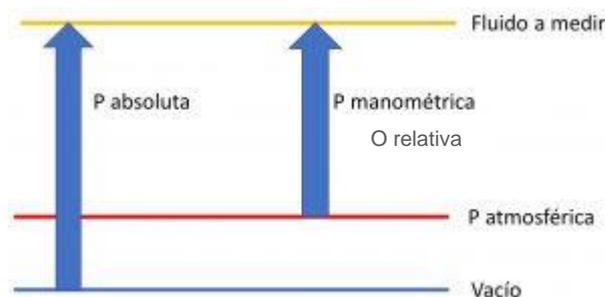


Figura 29: Presión Absoluta y Relativa.

Fuente: (PLCdesign, 2017)

- **Otras unidades de presión**

Actualmente las unidades de medida de presión pasadas aún son utilizadas en los indicadores de una autoclave por vapor a saturación. Según (Huys, 1999) “En el antiguo sistema *Metro-Kilogramo-Segundo*, la unidad de fuerza era el kilogramo y la unidad de presión era el  $\frac{kg}{m^2}$  o  $\frac{kg}{cm^2}$  o  $\frac{g}{m^2}$ .  $1 \frac{kg}{cm^2} = 100.000 Pa = 100 kPa$ ”. (pág. 145), en la actualidad hay una tendencia en los esterilizadores por vapor a saturación el uso de la presión en kPa. En la siguiente tabla se muestra las unidades de presión antiguas y las respectivas conversiones en el SI.

*Tabla 1: Las unidades en el antiguo Sistema Británico.*

*Las unidades en el antiguo Sistema Británico.*

Calidad	Unidad	Abrev.	Conversión al sistema SI
Fuerza	libra	<i>lb</i>	$1 lb = 0,45 kg = 4,5 N$
Distancia	pulgada	<i>in</i>	$1 in = 2,54 cm$
Superficie	pulgada cuadrada	$in^2$	$1 in^2 = 6,45 cm^2$

*Cuadro comparativo de unidades a SI de medidas.*

Fuente: (Huys, 1999)

Las unidades en el antiguo Sistema Británico.

Como consecuencia tenemos:

$$\frac{lb}{in^2} (PSI).$$

$$1 PSI = 0,0697 kg/cm^2 = 6.89 kPa.$$

$$100.000 Pa = 14,22 PSI = 14,22 lb/in^2 (presión atmosférica)$$

En unidades absolutas tenemos:

$$1 atm$$

$$1 atmósfera = 100 kPa$$

Vacío es  $0 \text{ atm} = 0 \text{ Pa}$

En unidades relativas tenemos:

$0 \text{ atm} = 100 \text{ kPa}$

Vacío es  $-1 \text{ atm} = 0 \text{ Pa}$

#### 2.2.2.4 Temperatura y calor

- **Temperatura:** El nivel calor de un cuerpo se llama temperatura y las unidades de medida se expresan en ( $^{\circ}\text{C}$ ). Dónde a  $0^{\circ}\text{C}$  de temperatura se derrite el hielo y a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  hierve el agua (al nivel del mar). Otra unidad de medida de temperatura, es el Grado Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Pero la unidad oficial en el SI y utilizada para la ciencia es el grado Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ).
- **Calor:** Es cantidad de energía que contiene un cuerpo es decir que es un tipo de energía como la luz y la electricidad. Según (Huys, 1999) “También muchas sustancias químicas, como el petróleo, contienen una cierta cantidad de energía. Esta energía es capaz de producir trabajo” (pág. 148). En todos los acontecimientos en el universo existe una transformación de energía y esa transformación genera trabajo.

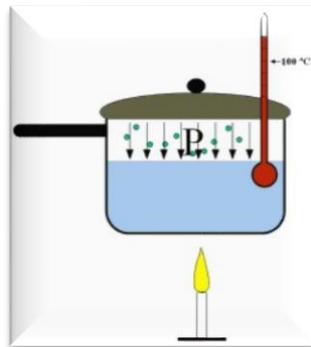


Figura 30: Si se aplica calor sube la temperatura.

Fuente: (Querelle y Cia Ltda. , 2015)

- **Contenido calórico:** Si lo que hacemos es calentar agua como en la figura anterior, la llama habrá transferido energía al agua a través de la olla diseñada especialmente para este caso, como un buen conductor de calor. Según (Huys, 1999) “Después de un cierto tiempo habrá subido la temperatura del agua: el agua contendrá una cierta cantidad de calor” (pág. 148). Esta cantidad de calor existente en agua, es el contenido calórico que finalmente depende de la temperatura, la cantidad de agua y el material o sustancia que esté siendo calentado, que para el caso es el agua.

### 2.2.2.5 Tiempos y temperaturas estandarizadas par la esterilización

Un producto se considera estéril por vapor a saturación siempre en cuando haya existido un contacto directo con la carga con una temperatura requerida durante un periodo de d.

*Tabla 2: Tabla de presiones y tiempos estándares para la esterilización.*

Alcance de temp. (°C)	Presión			Tiempo de exposición (minutos)
	$P_{abs}$ (kPa)	$P_{abs}$ (Bar)	$P_{gauge}$ (Bar)	
115 - 118	170 - 190	1,7 - 1,9	0,7 - 0,9	30
121 - 124	210 - 230	2,1 - 2.3	1,1 - 1,3	15
126 - 129	240 - 260	2,4 - 2.6	1,4 - 1,6	10
134 - 138	310 - 340	3,1 - 3,4	2,1 - 2,4	3

*Tiempos de exposición estándares para el vapor de alta temperatura.*

*Fuente: (Huys, 1999)*

Para la esterilización de productos sanitarios en exposición a 134 °C a una presión de 310 kPa es de 3 minutos.

### 2.2.2.6 Estructura

- **Aceros Inoxidable austeníticos**

Son aquellos aceros que pertenecen a la familia de los llamados Cromo-Níquel y es posible encontrar por su serie 300, que derivan de la aleación de níquel y cromo dicho de otra manera es cuando se agrega al acero un 18% de cromo y 8% de níquel.

Las características de este tipo de acero, es su plasticidad y tenacidad lo que implica alta resistencia a impactos incluso a cantidades extremas de baja temperatura. Según (Tejedor, 2013) estas aleaciones ferrosas “presentan microestructura predominantemente austenítica, estabilizadas por la gran cantidad de elementos de aleación gamagenos, que son principalmente níquel, manganeso, nitrógeno y el carbono, siendo que en aleaciones resistentes a la corrosión y en ligas resistentes a temperaturas extremas” (pág. 1). Deberá tenerse en cuenta en condiciones extremas de corrosión el nivel de carbono presente en el acero, deberá ser en el orden de 0,08%, presente en los aceros de serie 304 y 316. Este tipo acero requiere al soldarse un cuidado en el nivel del carbono existente reduciendo a un nivel de 0,03% y se obtiene la serie 304L y 316L.

Este tipo de acero inoxidable austenítico de la serie 300 no son magnéticos, su uso es frecuente por la alta ductilidad, soldabilidad y alta resistencia a la corrosión en la fabricación de recipientes y tuberías para usos químicos.

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

#### **3.1 Análisis**

En el análisis del Informe de Suficiencia Profesional titulado. Diseño de un control automático para un sistema de esterilización por vapor en la empresa Asepsis Perú S.R.L., Jesús María – 2018, se ha visto por conveniente los siguientes pasos:

##### **3.1.1 Diagrama de bloques de proceso de un esterilizador**

El proceso de esterilización es realizado en una autoclave, este sistema ejecuta el proceso de esterilización en forma automática, para ello debe suministrarse de energía eléctrica al cual acompañan otros suministros (agua, aire y vapor) con el fin de cumplir el objetivo de material estéril.

Con el siguiente diagrama de bloques de proceso, se podrá entender el funcionamiento interno de sistema:

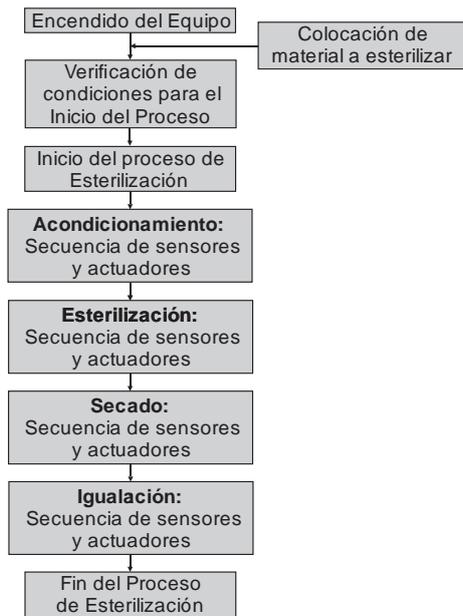


Figura 31: Diagrama de bloques de proceso de un esterilizador.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Diagrama de bloques de comunicaciones del PLC y periféricos

El HMI es el interfaz entre el operario y los procesos, este sistema traduce variables de procesos complejos en información útil y fáciles de procesar, según (Wonderware, 2018) “Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación” (pág. 1) bajo esta premisa el PLC se comunica entre el operario y la maquina a través de los sensores y actuadores este último a la vez mueven piezas fundamentales según la secuencia programada en proporción a las señales de entrada, como se podrá ver en el siguiente diagrama de bloques:

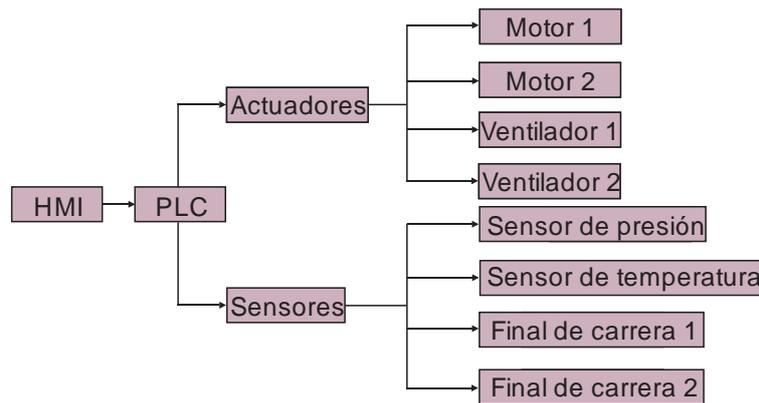


Figura 32: Diagrama de comunicaciones del PLC y periféricos.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3 Estructura de control del equipo

Según la estructura de control mostrada en esta sección es posible de forma eficiente encontrar el algoritmo adecuado para el control automático del proceso de esterilización, un proceso de esterilización tiene una secuencia definida y secciones, mostradas cada sección con sus respectivos diagramas de flujo.

#### 3.1.3.1 Diagrama de flujo (FD)

El control automático está dividido en 5 secciones en un proceso de esterilización.

- Inicio
- Acondicionamiento
- Esterilización
- Secado o Post Acondicionamiento
- Igualación
- **Inicio:** Una vez encendido el equipo por defecto apertura la válvula de ingreso de vapor a la recámara (chaqueta calefactora) hasta una presión de 312kPa y es controlado por un presostato, adicionalmente el equipo debe contar con medidores

de presión físicos (manómetros y vacuómetros o mano vacuómetros) los cuales, ubicados en la parte frontal, evidencian la presencia de presión adecuado para el inicio del proceso de esterilización correspondiente. Una vez hecha la carga y cargada en la cámara, se procede al cierre de la puerta, si el estado de cierre de puerta es confirmado entonces se da el arranque o inicio del proceso de esterilización con el programa elegido.

En la figura el diagrama de flujo nos muestra los primeros pasos para el “INICIO” del proceso de esterilización.

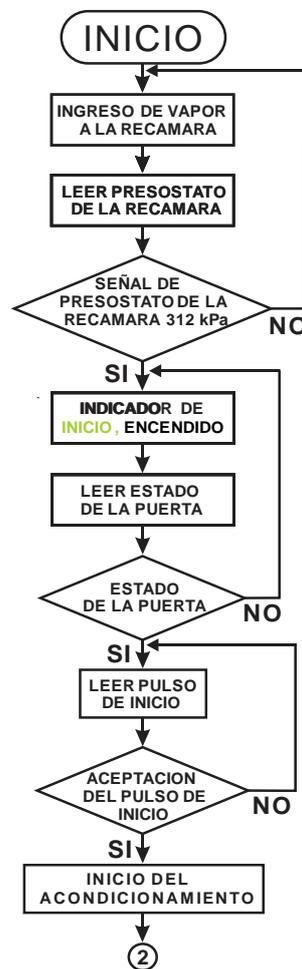


Figura 33: Diagrama de flujo de la etapa de INICIO del proceso de Esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

- Acondicionamiento:** El acondicionamiento es la remoción de los gases pesados (aire) de la cámara, con mecanismo de vacío forzado (bomba de vacío o Venturi), con el fin, que al inyectar el vapor tenga contacto directo con el material a esterilizar este proceso asegura la efectividad preliminar de los parámetros de esterilización (presión y temperatura).

En la figura 34 se muestra el diagrama de flujo la etapa de “Acondicionamiento”.

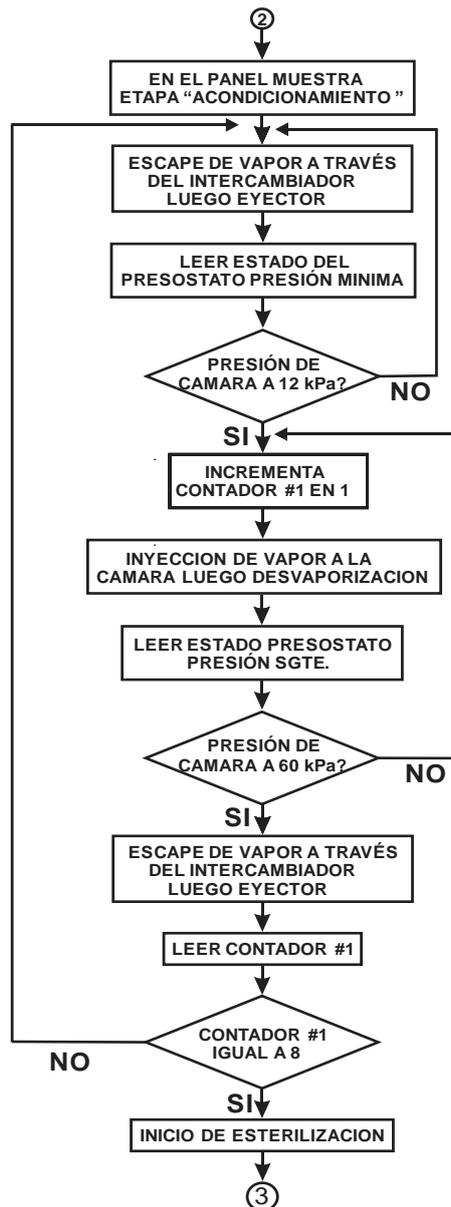


Figura 34: Diagrama de flujo de la etapa de Acondicionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Esterilización:** La etapa de esterilización con el acondicionamiento previo, a este nivel se ha logrado el objetivo de encontrar los tres parámetros de esterilización (tiempo, temperatura y presión), por tanto, la sintonía de control de temperatura y presión debe alcanzarse óptimamente, para asegurar la calidad de esterilización.

La figura ilustra el diagrama de flujo de la etapa de “ESTERILIZACION”.

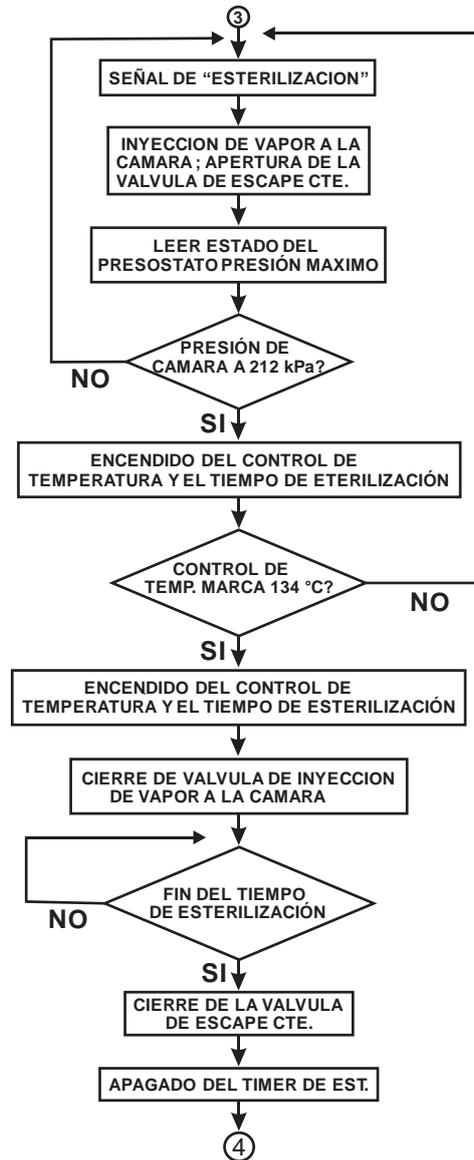


Figura 35: Diagrama de flujo de la etapa de Esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

- **Secado:** La etapa de secado a través del mecanismo de vacío forzado (bomba de vacío o Venturi) tiene la finalidad de extraer el vapor residual de la cámara y del material estéril, dejando de esta forma el material estéril seco.

En la figura se ilustra el diagrama de flujo de la etapa de “SECADO” del proceso de esterilización.

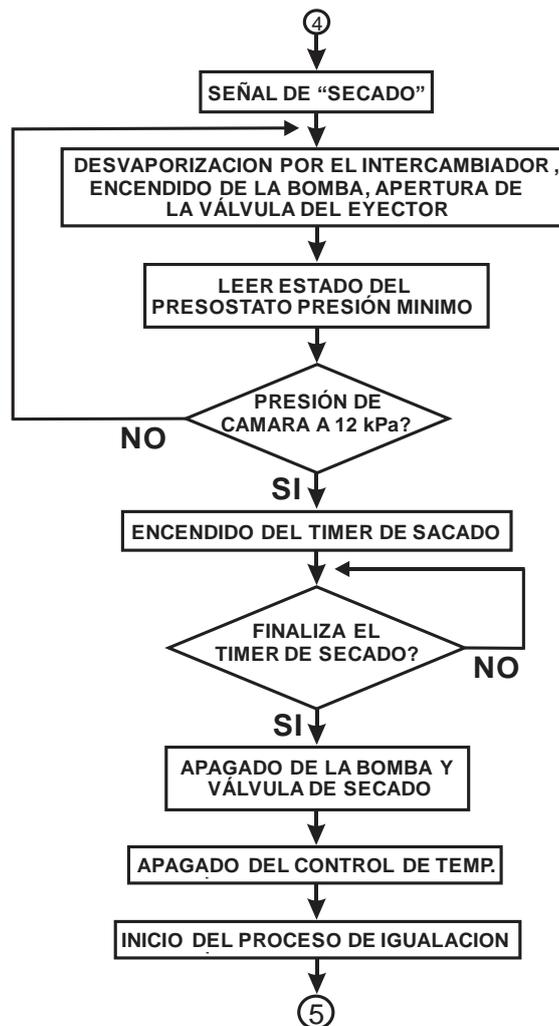


Figura 36: Diagrama de flujo de la etapa de Secado.

Fuente: Elaboración propia.

- **Igualación:** La etapa de igualación permite la compensación o igualación de presiones entre el medio ambiente y la cámara con el ingreso de aire previamente

filtrado a través del filtro hepa, permitiendo este suceso la apertura de la puerta y posterior retiro del material estéril.

En la figura se ilustra el diagrama de flujo de "IGUALACION" del proceso de esterilización.

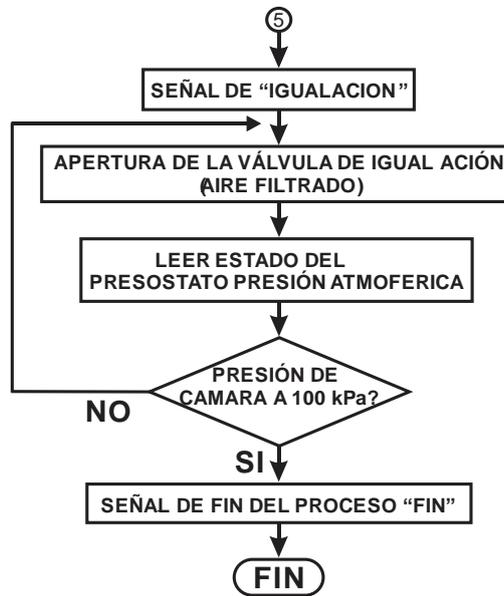


Figura 37: Diagrama de flujo de la etapa de Igualación.

Fuente: Elaboración propia.

Esta estructura de control se aprecia en la simulación adjunto en el "ANEXO VI – Simulación" a la vez sigue los pasos descritos en la "Secuencia de Funcionamiento ANEXO III"

### 3.1.4 PLC (controlador lógico programable)

En esta sección se busca las características del PLC de acuerdo a los datos de entrada y salida (I/O) recopilados del equipo en estudio.

Tabla 3: Entrada y salida de datos del esterilizador.

Entrada y salida de datos del esterilizador.

Ítem	Descripción	I/O	Localización
<b>Analógicos</b>			
1	Sensor de temperatura pt100	I	Cámara
2	Transductor de presión1	I	Cámara
3	Transductor de presión2	I	Recámara
<b>Digitales</b>			
4	Presostato 1	I	Burlete
5	Final de carrera	I	Puerta PZNE
<b>Actuadores</b>			
6	Electroválvula 1 Agua	O	Tanque de condensados
7	Electroválvula 2 Agua	O	Tanque de condensados
8	Electroválvula 3 Vapor	O	Escape rápido
9	Electroválvula Neumática 1	O	EV4 Recámara-Cámara
10	Electroválvula Neumática 2	O	EV6 Igualación
11	Electroválvula Neumática 3	O	EV1 Recámara
12	Electroválvula Neumática 4	O	EV8 Burletes
13	Electroválvula Neumática 5	O	EV2 Bomba vacío
14	Electroválvula Neumática 6	O	EV12 Tanque agua
15	Electroválvula Neumática 7	O	EV5 Tanque agua
16	Bomba de agua 1	O	M1
17	Ventilador 1	O	M2

Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento de cada componente se puede ver en anexo III (Secuencia de funcionamiento).

Cada uno de los componentes de la lista equivale a una carga, y la suma total de las cargas hará cuánta corriente de salida será necesaria, de la fuente de alimentación para que funcione el sistema de control de la unidad. Las ecuaciones son las siguientes, como: las leyes fundamentales de la electrónica o simplemente ley de Ohm que define la relación voltaje – corriente característica de una resistencia real.

$$V = R * I$$

Donde:

$V$  es la tensión entre las dos terminales del resistor en Voltios (V)

$I$  es la corriente que fluye a través del resistor en Amperios (A)

$R$  es el valor del resistor en Ohmios ( $\Omega$ )

Tabla 4: Ley de Ohm.

Voltaje (V)	Corriente (I)	Resistencia ( $\Omega$ )
$V = R * I$	$I = \frac{V}{R}$	$R = \frac{V}{I}$

Fuente: Elaboración propia.

La ley de Ohm complementa con la ley de Watt que hace referencia a la potencia eléctrica de los componentes eléctricos que hace referencia a la potencia consumida. La unidad es el Watt y el símbolo es (P)

Tabla 5: Ley de Watt.

Fórmulas de la Potencia "P" en (W)		
$P = V * I$	$P = \frac{V^2}{R}$	$P = \frac{V^2}{R}$

Fuente: Elaboración propia.

En la industria, la potencia eléctrica se expresa mediante hp (E) que corresponde a caballos de fuerza la equivalencia es la siguiente.

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

### 3.1.4.1 Aspectos externos de un PLC

Un PLC deberá cumplir con elementos e indicadores de conexión de energía eléctrica en su frontal para su funcionamiento, características que un instalador debe conocer para la puesta en marcha como también el mantenimiento correspondiente, las cuales se visualizan en el siguiente cuadro.

*Tabla 6: Características externas de un autómata.*

Características externas de un autómata.

Ítem	Elementos	Características
1	Bornes de alimentación	La tensión de alimentación para la puesta en marcha que se pueden encontrar en el mercado es: 24 Vcc, 48 Vcc o 230 Vca.
2	Bornes de E/S	Los bornes son un tipo de conexión para los captadores/actuadores y facilitan la conexión, físicamente están separados y rotulados.
3	Interface de conexión y programación	Para la interface es un slot que permitirá la conexión entre el autómata y una PC para su correspondiente programación.
4	Interface de expansión	Permitirá la posible expansión con módulos de E/S de comunicación.
5	Indicadores Led	Las acciones y situaciones del funcionamiento de un autómata serán señalizados a través de un Led como el: RUN/STOP, E/S de señales, errores, etc.
6	Alojamiento cartucho Memory Card	Es el que permite la conexión ente las tarjetas de memoria no volátiles como salvaguarda de los programas.

---

7	Conector batería	Es el alojamiento de la pila que salvaguardará los recursos mínimos de funcionamiento de un autómata.
8	Fuente de alimentación	Las entradas y captadores de tipo activo serán alimentadas con una tensión final de 24 Vcc.
9	Interruptor RUN/STOP	Es un conmutador que ejecuta o detiene el programa de usuario.
10	Potenciómetros analógicos	Cuando es necesaria la variación de valores de temporización y cómputo desde el exterior es posible hacer las variaciones por este medio.

---

Fuente: Elaboración propia.

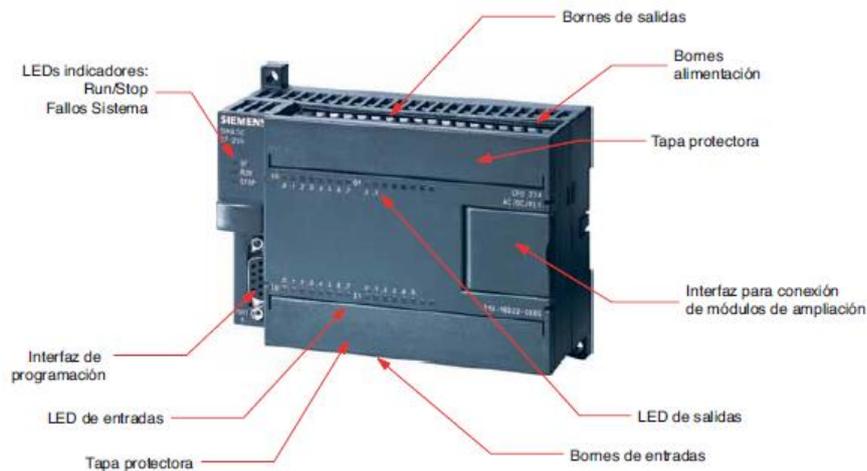


Figura 38: Características externas de un autómata.

Fuente: (Martín & García, 2009)

### 3.1.4.2 Fundamentación teórica para la solución del PLC Siemens

El sistema de esterilización por vapor en estudio, con él o los dispositivos del control automático diseñado, únicamente aplica a las soluciones de la secuencia de funcionamiento en particular, el cual es objeto de estudio.

Por tanto, en el proceso de diseño, para cliente fue de necesidad fundamental realizar un estudio de soluciones disponibles en el mercado y de las opciones, entre las que se han decido son las siguientes:

- El uso del PLC de la marca SIEMENS S7-1200, que cumple con los requerimientos mínimos de entradas y salidas E/S analógicas (AI/AO) y entradas y salidas E/S digitales (DI/DO), requeridos para la secuencia de funcionamiento en el proceso de esterilización por vapor hospitalario o sanitario.
- Pantalla HMI de la marca SIEMENS TP700 Confort, elegida por sus dimensiones y opciones, que permitan la interacción entre hombre y la máquina.

La selección de estos dispositivos tecnológicos para el control de proceso, es requerido por la escalabilidad a futuro entre otros dispositivos existentes en el área de producción de la empresa Asepsis, como medida de estandarización y también entre otras características es la robustez que garantiza la operación continua en ambientes hostiles.

Finalmente, las opciones de elegir estos dispositivos son también requeridos por las prestaciones de servicios de asistencia técnica de parte del proveedor de la marca señalada.

### **3.1.5 Unidades de temperatura**

El nivel de calor es la que llamamos temperatura y se puede expresar en grados centígrados (°C), grados Fahrenheit (°F) y grado Kelvin (°K), según (Huys, 1999) “La unidad oficial de temperatura utilizada en la ciencia es el Grado Kelvin (°K). También en el sistema SI, el °K es la unidad de temperatura” (pág. 147). Pero el de uso frecuente es el °C, aunque algunos equipos son diseñados con otras unidades, de acuerdo del país de fabricación, la siguiente tabla nos muestra la conversión entre °C, °F y °K.

Tabla 7: Tabla de conversión de unidades de temperatura.

Tabla de conversión de unidades de temperatura.

<b>Temperatura</b>	
°F= Grado Fahrenheit =	Grado Centígrado x 9/5+32
°C= Grado Centígrados =	(Grado Fahrenheit - 32) x 5/9
°K= Grado Kelvin =	±°C + 273

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.6 Unidades de presión

La presión que recae sobre un objeto es la fuerza que actúa sobre éste, por una unidad de superficie, la unidad de presión en SI es el Pascal (Pa), según (Huys, 1999) “En el pasado, se han utilizado unidades de presión muy diferentes. Es posible que algunas de estas unidades aún sean utilizadas por los indicadores de su esterilizador” (pág. 145). En los esterilizadores actualmente se utilizan diferentes unidades de presión para ello será de utilidad la tabla de conversión de unidades de presión.

Tabla 8: Tabla de conversión de unidades de temperatura.

Tabla de conversión de unidades de temperatura.

<b>Presión</b>	
1 bar (atmósfera técnica) =	100 kPa (0.1 N/mm <sup>2</sup> )
1 mbar (milibar) =	100 Pa
1 kPa (kilo Pascal) =	10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup> = kN/m <sup>2</sup>
1 mmHg (torr) =	± 133.32 Pa
1 mwk (metros de columna de agua) =	± 9.81 kPa (9.81 kN/m <sup>2</sup> )
1 kgf/cm <sup>2</sup> =	± 98.07 kPa
1 psi (libras por pulgada cuadrada) =	± 6.89 kPa (6.89 kN/m <sup>2</sup> )
1 bar (atmósfera técnica) =	14.5 psi (libras por pulgada cuadrada)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.7 Contenido calórico

El calentar diferentes materiales, el calor necesario para incrementar la temperatura, no es igual para todos los materiales, el contenido calórico depende de la temperatura, la

cantidad de sustancia y el material que se quiere calentar (para el caso de estudio nos enfocaremos en el agua).

Como se podrá ver en el cuadro comparativo el agua requiere más energía que otros materiales o sustancias. La unidad de energía para el calor es el Julio (J), si se quiere subir la temperatura de la masa de 1 gm, de agua, será necearía la cantidad de 4,2 Joule de calor, según (Huys, 1999) “¡Así que el agua, a una determinada temperatura, es capaz de contener más energía que otros materiales a esa misma temperatura!” (pág. 149), el calor necesario para elevar la temperatura de 1 kg de cualquier sustancia a un 1 °C, es llamado capacidad calórica específica.

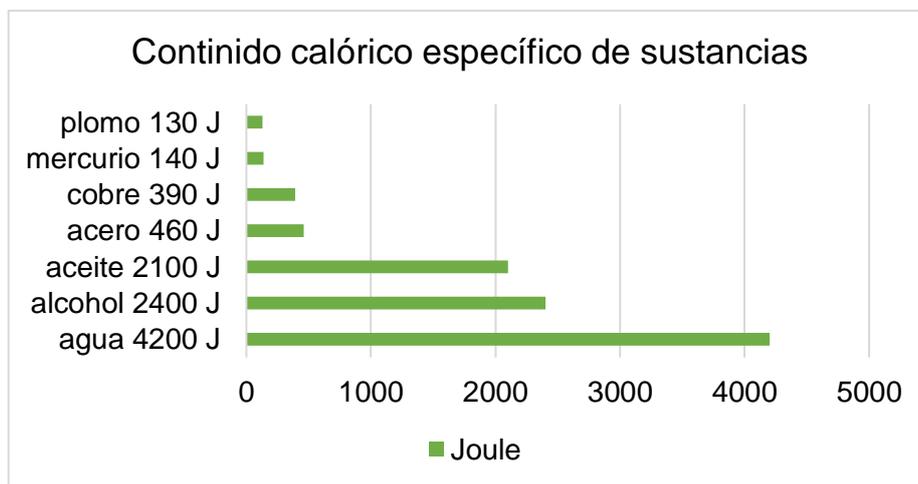


Figura 39: Comparación del contenido calórico específico de diferentes materiales.

Fuente: (Huys, 1999)

En el caso de los líquidos la capacidad calórica específica se indica como  $h_l$ .

### 3.1.8 Contenido energético total o entalpía

Entalpía es el contenido total de calor de cualquier sustancia, en nuestro caso la entalpía del agua a 0°C como cero, según (Huys, 1999) “Después de calentar 1 kg de agua hasta

una temperatura de 50°C, contenido calórico será  $50 \times h_l = 50 \times 4.200 = 210.000$  o 210 kJ” (pág. 150). En la siguiente tabla se puede apreciar la fórmula para diferentes temperaturas.

*Tabla 9: Entalpía del agua de 0 a 100°C.*

Temperatura (°C)	Capacidad		Entalpía (kJ/kg)
	calórica específica ( $h_l$ )	°C * $h_l$	
0	4200	0*4200	0
25	4200	25*4200	105
50	4200	50*4200	210
75	4200	75*4200	315
100	4200	100*4200	420

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.8 Cantidad de energía para la evaporación

Cuando el agua inicia la ebullición, su temperatura deja de subir, el calor que se va añadiendo queda en la evaporación, por consiguiente, el agua en líquido al calentarse se convierte en gas expandiendo su volumen. Según (Huys, 1999) “¡Cada litro de agua se convertirá en más de 1.600 litros de vapor! ¡Esta transformación de agua a vapor requiere una enorme cantidad de energía calórica!” (pág. 152). En comparación con otras sustancias líquidas el agua requiere mucha más energía para evaporarse.

*Tabla 10: Entalpía del agua en comparación con otras sustancias líquidas.*

Entalpía del agua en comparación con otras sustancias líquidas.

Sustancia líquida	Entalpía (kJ/kg)
alcohol	880
éter	375

bencina	395
<b>agua</b>	<b>2260</b>

Fuente: Elaboración propia.

La capacidad calórica específica de evaporación o entalpía específica de evaporación con símbolo  $h_{lg}$  que representa el calor necesario para cambiar el agua de líquido a gas, es la cantidad de calor requerido para evaporar 1 kg de agua. El calor invertido en proceso de evaporación está en el vapor y se llama calor latente.

### 3.1.9 Vapor saturado

Al hervir el agua el vapor comienza a desplazar el aire, desde la capa sobre el agua, se asegura que el aire se haya eliminado por completo y el espacio contiene solo vapor, esto es llamado vapor saturado, según (Huys, 1999) “A consecuencia de su enorme calor de condensación, el vapor saturado es el agente calentador más efectivo en un proceso de esterilización” (pág. 154), si el vapor tiene contacto con cualquier material más frío en seguida inicia la condensación.

El contenido calórico de 1 kg de vapor puro representado por ( $h_g$ ), entonces:

$$h_g = h_l + h_{lg}$$

Tabla 11: Contenido calórico o entalpía de vapor puro.

Contenido calórico o entalpía de vapor puro.

Contenido calórico del agua ( $h_l$ )	Contenido calórico de la evaporación del agua ( $h_{lg}$ )	Contenido calórico de vapor puro ( $h_g$ ) $h_g = h_l + h_{lg}$
419 kJ/kg	2257 kJ/kg	2675 kJ/kg

Fuente: Elaboración propia.

Por ello puedo concluir que el vapor es el agente esterilizante con fuerte poder de penetración en materiales porosas.

### 3.1.10 Lenguajes de programación de autómatas

Existen cuatro lenguajes de programación, dos en forma gráfica y otros dos textuales.

#### 3.1.10.1 Lenguajes gráficos

La elaboración de programa se hace en forma gráfica y son:

- Lenguajes gráficos de contactos (LD) (KOP).
- Lenguajes gráficos de funciones lógicas (FBD) (FUP).
- **Lenguajes gráficos de contactos (LD) (KOP).** - Se caracteriza por utilizar los símbolos similares a los esquemas de los circuitos eléctricos a relés que para un automatista le será más fácil programar en otros lenguajes.

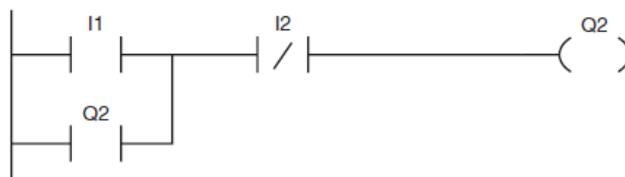


Figura 40: Ejemplo de programa con lenguaje gráfico de contactos.

Fuente: (Martín & García, 2009)

—   —	Contacto abierto	—( )	Bobina directa
—  /  —	Contacto cerrado	—( / )	Bobina inversa
—  P  —	Flanco positivo	—( S )	Bobina de activación
—  N  —	Flanco negativo	—( R )	Bobina de desactivación
—  NOT  —	Negación		

Figura 41: Los símbolos básicos de programación.

Fuente: (Martín & García, 2009)

Es el lenguaje más utilizado en autómatas programables y en caso de este informe es la herramienta principal en la programación, es llamado también lenguaje ladder o escalera.

### **3.1.11 Normas de estandarización del proceso de esterilización**

En esta sección lo que se quiere es saber con certeza, según los procedimientos de las normativas si un producto sanitario está estéril o no está estéril, por ello, tanto los productos sometidos al proceso de esterilización como el equipo, serán sometidos a la validación con el fin de registrar e interpretar los datos necesarios que demuestren que el proceso de esterilización cumple de forma consecuente las especificaciones predeterminadas. Según (Huys, 1999) “bajo auspicio de las agencias internacionales de estandarización ISO y CEN. Éstos grupos han formulado normas relacionados con la esterilización de productos sanitarios” (pág. 235), esto significa que si se implementase el control diseñado en este informe, funcionara como lo esperado, ello no será suficiente, tanto los productos esterilizados como el equipo se someterán a la validación según ISO 17665-1:2006 (Esterilización De Productos Para El Cuidado De La Salud - Calor Húmedo - Parte 1: Requisitos Para El Desarrollo, Validación Y Control De Rutina De Un Proceso De Esterilización Para Dispositivos Médicos).

A continuación, se muestra la tabla de las normas de consulta elaborados en los años ochenta por las agencias internacionales de estandarización ISO (Organización Internacional para la Estandarización), CEN (Comité Europea para la Estandarización) y CEI (Comité Electrotécnico Internacional) que sirven para mejorar, garantizar la calidad de productos sanitarios sometidos a la esterilización.

Tabla 12: Normas de consulta en su elaboración original.

Normas de consulta en su elaboración original.

<i>Norma</i>	<i>Aplicación</i>
<i>EN554</i>	<i>Esterilización de equipo médicos – Validación y control de rutina de la esterilización por vapor húmedo</i>
<i>EN556</i>	<i>Esterilización de productos sanitarios – Requisitos para poder nombrar un producto “Estéril”</i>
<i>EN866</i>	<i>Sistemas biológicos para prueba de esterilizadores</i>
<i>EN867</i>	<i>Sistemas no-biológicos para uso en esterilizadores</i>
<i>EN868</i>	<i>Materiales de embalaje y sistemas para productos sanitarios a ser esterilizados</i>
<i>ISO 11134</i>	<i>Esterilización de productos para el cuidado de la salud – Requisitos para la validación y el control de rutina, Esterilización industrial por calor húmedo industrial (1992)</i>
<i>ISO 11140</i>	<i>Esterilización de productos para el cuidado de la salud – Indicadores Químicos</i>

Fuete: (Huys, 1999)

### 3.2 Diseño

Los autómatas programables actualmente están generalizados en la línea de procesos y manufactura industrial entre otros sectores, el sistema de control se puede programar en diferentes lenguajes de programación, para el caso de estudio de este proyecto realizaremos con el lenguaje ladder (escalera) o diagrama de contactos, este lenguaje es netamente gráfico, basados en esquemas eléctricos de control clásicos.

Para mayores detalles véase el anexo V.

Previamente para el diseño se ha realizado el siguiente proceso:

### **Paso I - Investigación preliminar**

- Definición minuciosa de los pasos que se realizarán en las diferentes etapas de los procesos de esterilización.
- Determinación de la cantidad de temperatura y presión que soportarán los elementos a esterilizar estando dentro del dispositivo.
- Determinación de los resultados de las técnicas utilizadas hasta el momento de la toma de datos para la esterilización.
- Definición de parámetros

### **Paso II – Estudio del dispositivo para el control de los esterilizadores**

- Análisis de los datos obtenidos del esterilizador de forma manual.
- Elaboración del diagrama de los instrumentos.
- Selección de los sensores para las variables de control.
- Selección de los actuadores.
- Estudio de amplificadores de datos, diseño, conversores, etc.
- Elección de controladores lógicos que se adecuen a los objetivos de la investigación.

### **Paso III – Procedimiento.**

La recopilación previa de datos es importante para la automatización de los esterilizadores, se inicia con el estudio del proceso que realiza el trabajador al maniobrar el dispositivo, desde el momento que carga la máquina hasta la salida y descargo de los materiales. Por la lentitud de la línea de trabajo, falta de material y fundamentalmente al trabajo de distintos tipos de material que no son muy bien colocados dentro del dispositivo. En el anexo II se muestran los detalles y características de los sistemas de esterilizador por vapor P&ID ISA S5.1 y P&ID ISA S5.4 respectivamente.

La figura 42 es el programa, en la etapa inicial una vez encendido el equipo dónde listo para elegir un programa para ejecutar un proceso de esterilización con START que es una llave, pulsador o contacto físico.

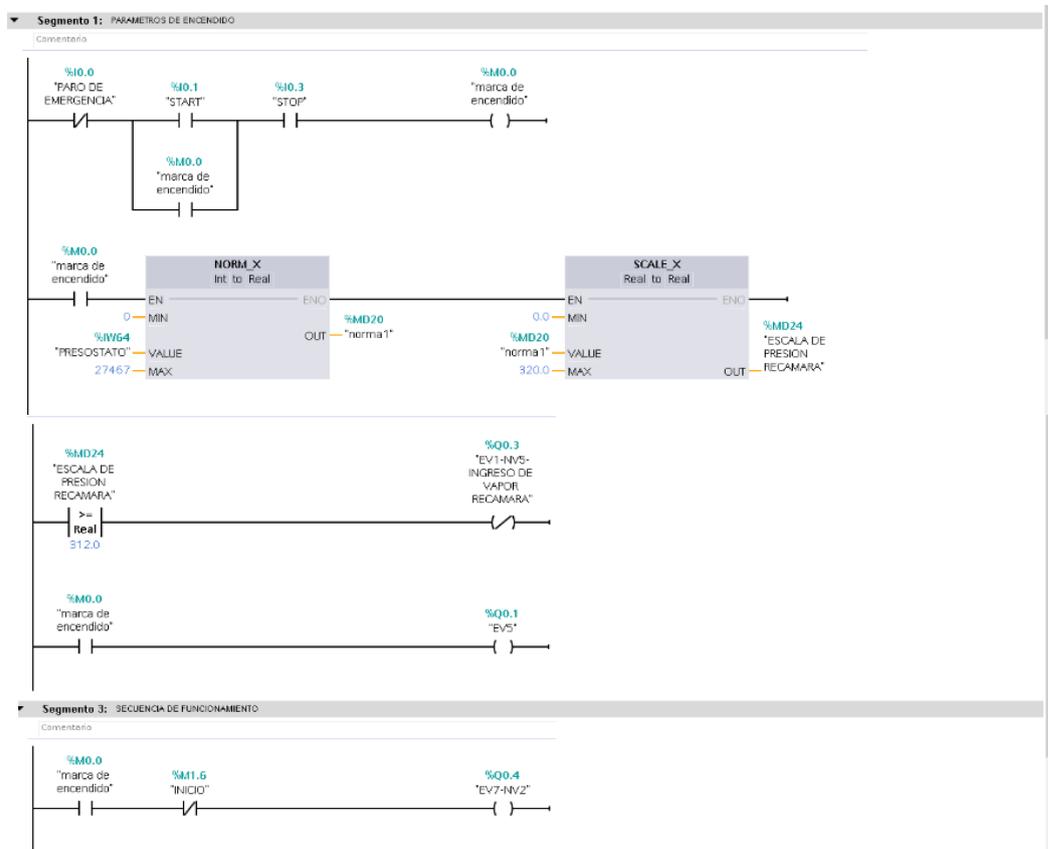


Figura 42: Diagrama ladder de programación del sistema de control de un esterilizador.

Fuente: Elaboración propia.

La programación completa vea en el ANEXO V – Programación ladder en el entorno TIA portal.

### 3.2.1 Dispositivos de Comunicación Hombre-Máquina (HMI)

El software de TIA portal una vez elaborado la secuencias de cualquier algoritmo es posible ejecutar la simulación, para ello se debe configurar y hacer la programación y asignar imágenes, fecha, logotipo, etc, para el control interactivo será necesaria asignar cada

elemento con las variables establecidos en el programación del PLC siguiendo una secuencia objetivo. La variables antes mencionadas se muestra en la siguiente figura.

Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables ...	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1	PARO DE EMERGENCIA	Tabla de variables ...	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	START	Tabla de variables ...	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	marca de encendido	Tabla de variables ...	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	STOP	Tabla de variables ...	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	PRESOSTATO	Tabla de variables ...	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	norma1	Tabla de variables ...	Real	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	ESCALA DE PRESION RECAMAR	Tabla de variables ...	Real	%MD24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	MP1	Tabla de variables ...	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	EV5	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	EV1-NV5-INGRESO DE VAPOR F	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	EV7-NV2	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	PT-100	Tabla de variables ...	Int	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	NORM2	Tabla de variables ...	Real	%MD26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	ESCALA DE TEMPERATURA	Tabla de variables ...	Real	%MD28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	PROCESO	Tabla de variables ...	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	MARCA DE ENCENDIDO 2	Tabla de variables ...	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	EV8_CN4	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	RECETA1	Tabla de variables ...	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	RECETA2	Tabla de variables ...	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	RECETA3	Tabla de variables ...	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	RECETA4	Tabla de variables ...	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	PROGRAMA1	Tabla de variables ...	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	PROGRAMA2	Tabla de variables ...	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	PROGRAMA3	Tabla de variables ...	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	PROGRAMA4	Tabla de variables ...	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	INICIO	Tabla de variables ...	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	FINAL PROGRAMA	Tabla de variables ...	Bool	%M1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	CONDICIONES DE EJECUCION1	Tabla de variables ...	Bool	%M2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	TIEMPO DE EJECUCION	Tabla de variables ...	Time	%MD100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	EV12	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	EV7-NV6	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	EV7-NV9	Tabla de variables ...	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	P2	Tabla de variables ...	Bool	%Q1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	EV4-NV1	Tabla de variables ...	Bool	%Q1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35	TRANSDUCTOR DE PRESION CA	Tabla de variables ...	Int	%IW68	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
36	NORMA3	Tabla de variab...	Real	%MD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
37	ESCALA PRESION CAMARA	Tabla de variables ...	Real	%MD32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
38	CONTROL 1	Tabla de variables ...	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
39	CONTROL 2	Tabla de variables ...	Bool	%M10.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
40	CONTROL 3	Tabla de variables ...	Bool	%M10.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
41	<Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 43: Lista de variables establecidas del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del proyecto se debe asignar otro dispositivo, en este caso el HMI para luego hacer las programaciónes correspondientes. En la siguiente imagen se está asignando el HMI KTP6000 Basic.

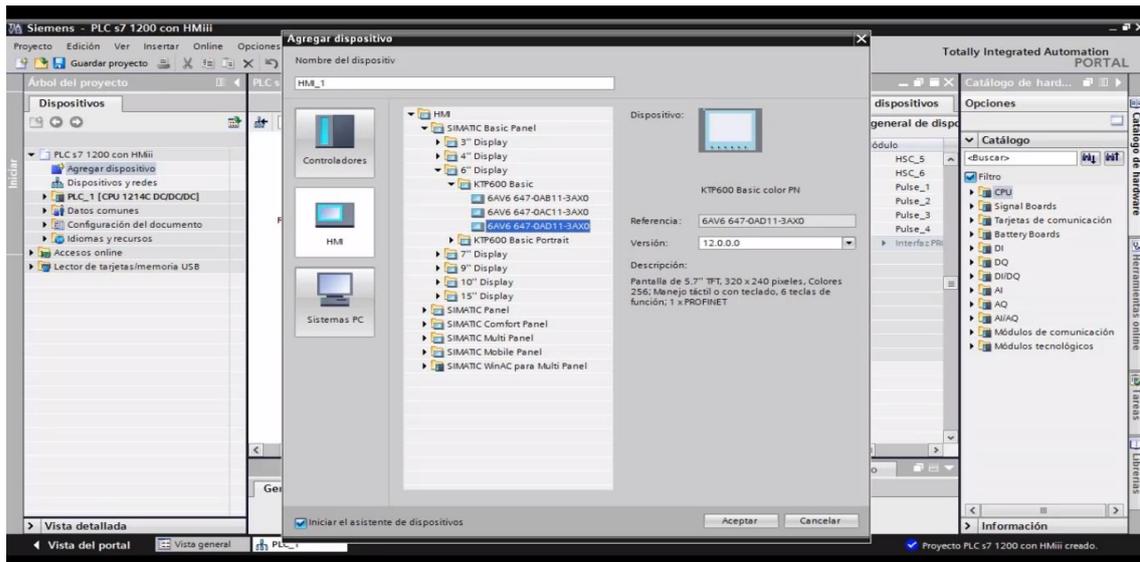


Figura 44: Asignación de un HMI dentro del proyecto para simulación.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso nos lleva al asistente del panel de operador para continuar los pasos siguientes de configuración.

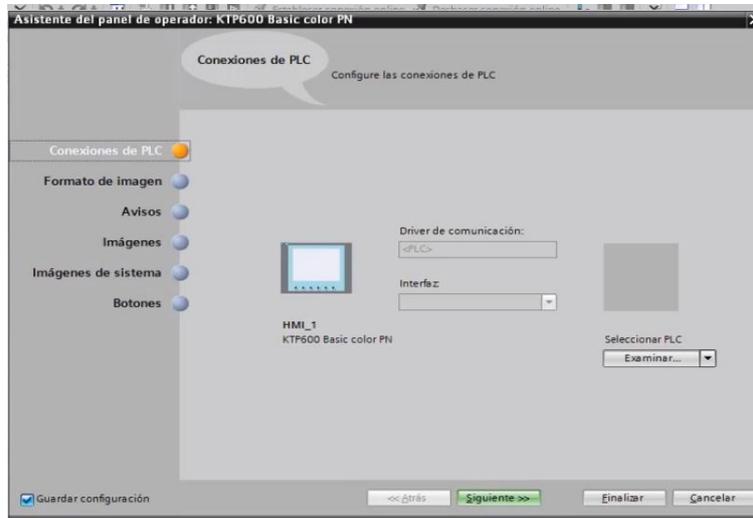


Figura 45: Panel de asistente de control.

Fuente: Elaboración propia.

Continuamos con las conexiones de PLC, este caso por lo que podría existir varios PLC, por tanto, se debe asignar el PLC indicado, con el que, el HMI esté conectado. En la imagen siguiente nos muestra que el HMI y el PLC están conectados.

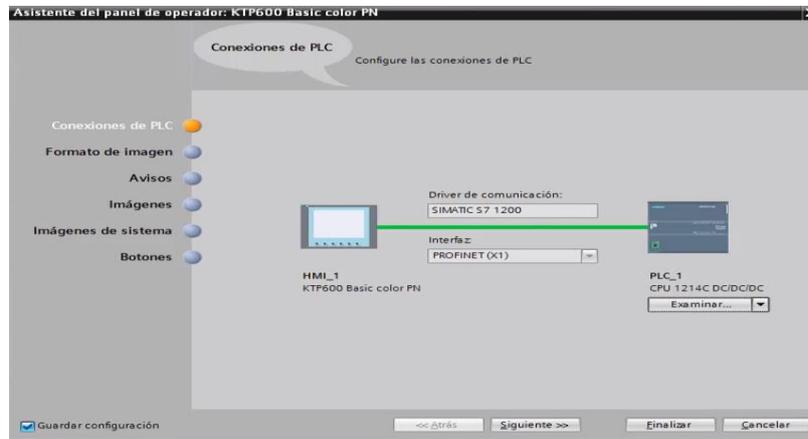


Figura 46: Conexión correcta entre el HMI y el PLC.

Fuente: Elaboración propia.

Luego pasamos al formato de imagen en el cual se puede asignar o modificar la resolución, el color de fondo, fecha y hora como también asignarle un logotipo de la empresa o diseñador del proyecto.

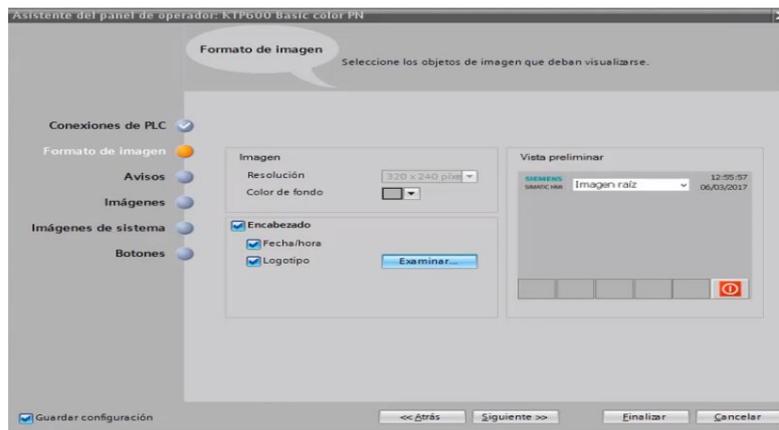
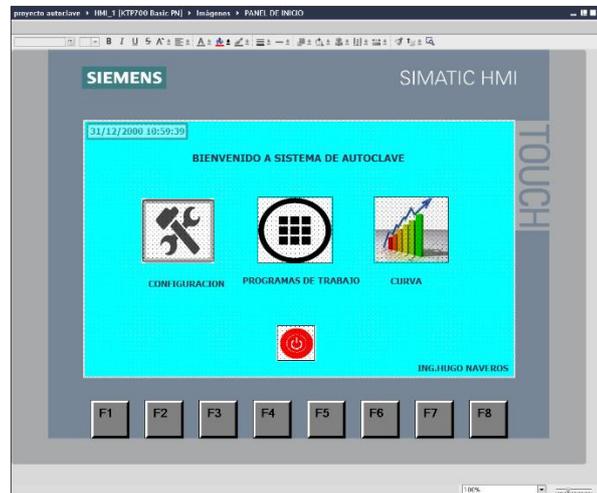


Figura 47: Ventana de formato de imagen.

Fuente: Elaboración propia.

Para terminar con el asistente de panel de operador le damos en finalizar dejando avisos, imágenes, imágenes de sistema y botones por defecto y el HMI queda asignada como la que se ve en la siguiente imagen.



*Figura 48: HMI asignada al PLC.*

Fuente: Elaboración propia.

Estos sistemas comunicación hacen posible que haya una ventana de comunicación entre un operario, la máquina y los dispositivos que actúan al elegir un programa en la receta, el programa elegido está previamente establecido con un algoritmo que sigue una secuencia hasta terminar el proceso de esterilización, a la vez se puede visualizar el estado de los parámetros, requisitos para el seguimiento y control del proceso.

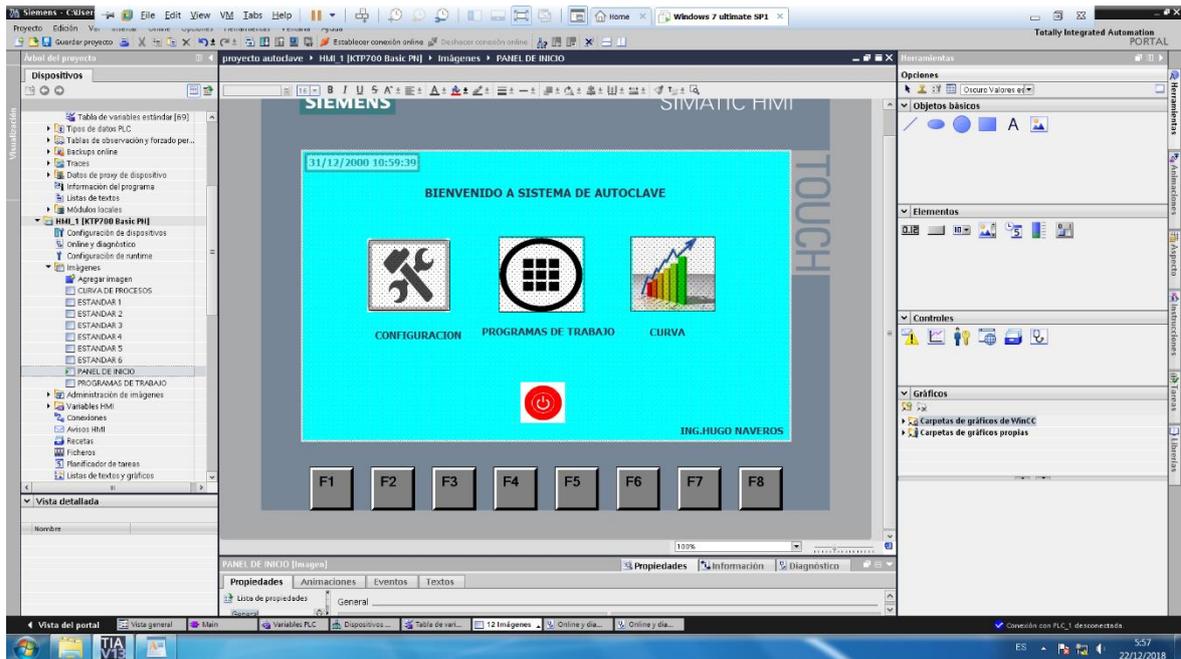


Figura 49: Menú de inicio interactivo e intuitivo.

Fuente: Elaboración propia.

El menú de programas elegibles es asignado, a cada una de las variables del PLC según funcionalidad requerida para ejecutar la secuencia del algoritmo, para tal efecto se elige las imágenes que representan a una acción en particular y posteriormente se hace la animación según el perfil que se quiere asignar a cada icono. En la asignación no solo es imagen también se asigna secuencias alfa numéricas y gráficas interactivas en tiempo real.

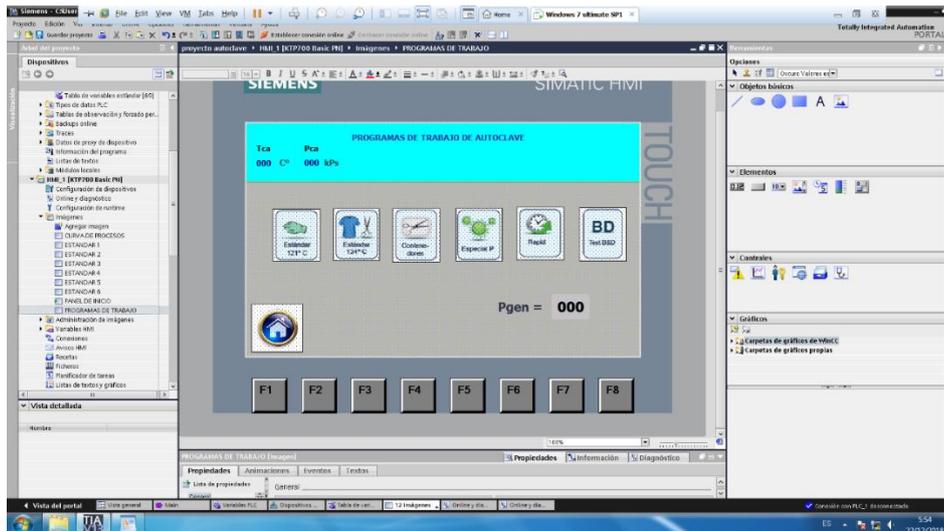


Figura 50: Menú de programas elegibles según material a esterilizar.

Fuente: Elaboración propia.

Para la autoclave en estudio según las características requeridas se ha asignado diferentes iconos, con tan solo pulsar uno de ellos se podrá visualizar o abrir otras ventanas con el fin de monitorear, ejecutar un programa, imprimir y controlar la unidad. Una vez la animación finalizada el entorno queda con el de la siguiente imagen.

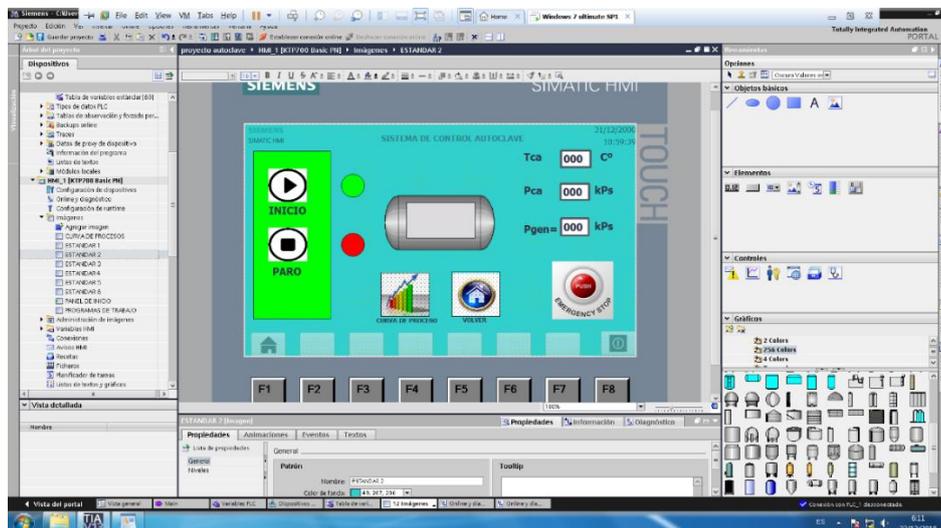


Figura 51: Menú de inicio y control del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

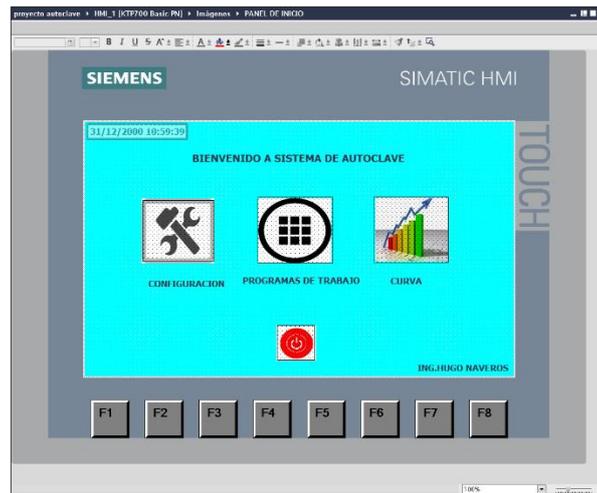
### 3.3 Simulación

El software de TIA Portal de Siemens es un sistema ingeniería innovador que permite configurar cualquier proceso de planificación y producción, tiene la particularidad que permite la simulación una vez elaborado cualquier algoritmo de control, sin tener que construir un prototipo costoso, para la simulación se debe instalar el software de S7-PLCSIM. En la simulación tiene ciertas limitaciones por lo que requiere el ingreso de datos de entradas analógicas manualmente para la simulación y otras entradas como finales de carrera, eso no significa que el propósito no se logre.

Desde el HMI elaborado con los vínculos correspondientes con el PLC, TIA Portal nos permite la simulación a través del software S7-PLCSIM, desde el panel de control y mando, sigue la secuencia elaborada en el desarrollo del presente proyecto, en la sección “3.1.3 Estructura de Control del Equipo”. A continuación, se irá ilustrando con las imágenes la simulación siguiendo la secuencia.

También vea el “ANEXO VI – Simulación”.

La figura 52 muestra el panel una vez encendido la unidad. Cada icono representa una acción definida, la configuración permite darle el ajuste de los parámetros (tiempo, temperatura y presión), en los programas de trabajo desliza o apertura la receta de los programas preestablecidos, el icono curvo muestra gráficamente en tiempo real los parámetros cuando se ejecuta un programa de esterilización o mientras el equipo este encendido y finalmente el icono rejoy para el apagado de todo el sistema.



*Figura 52: Panel de Control y Mando del HMI.*

Fuente: Elaboración propia.

La figura 53 muestra los variables de control desde el cual se hará posible la ejecución de la simulación una vez elegido el programa cerrada la puerta con MP1 se le da inicio al proceso de esterilización con Start, los siguientes pasos según la secuencia del algoritmo de control activaran o desactivaran los actuadores, siempre en cuando los datos de la lectura de los sensores analógicos sean los correspondientes, que para el caso de la simulación, estos datos se deben ingresar manualmente, el variable transductor presión de la cámara que está en la lista número uno y los dos últimos presostato de la cámara y el sensor pt-100 que también el del control de cámara.

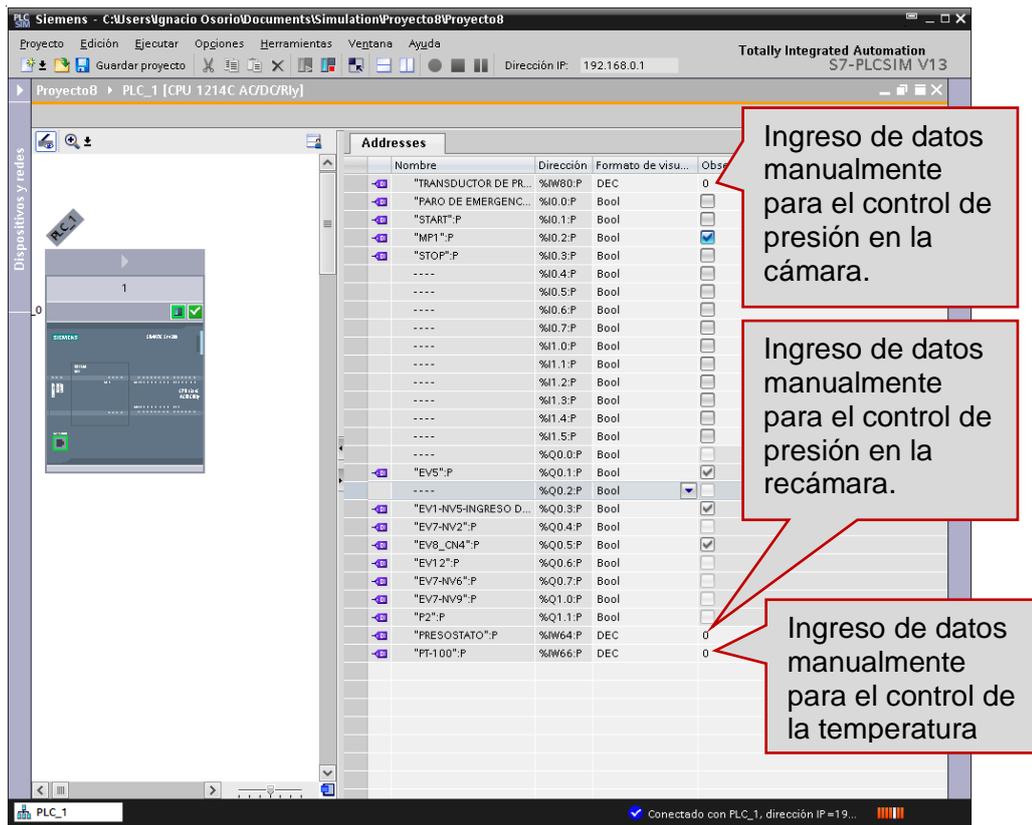


Figura 53: Variables del programa:

Fuente: Elaboración propia.

La figura 54 es abierta con “programas de trabajo” que se muestra en la figura 52, en la parte superior muestra la temperatura de la cámara (Tca) y presión de la cámara (Pca), la pila de iconos horizontal es la receta de programas a elegir según las características del material a esterilizar, la figura de la casita para el retorno hacia el menú principal, el icono on/off es para la apertura y cierre de la puerta con su respectivo led de confirmación de cierre, el icono grafico es el acceso a la pantalla gráfica de parámetros o datos de entradas analógicas y Pgen muestra la presión en la recámara.

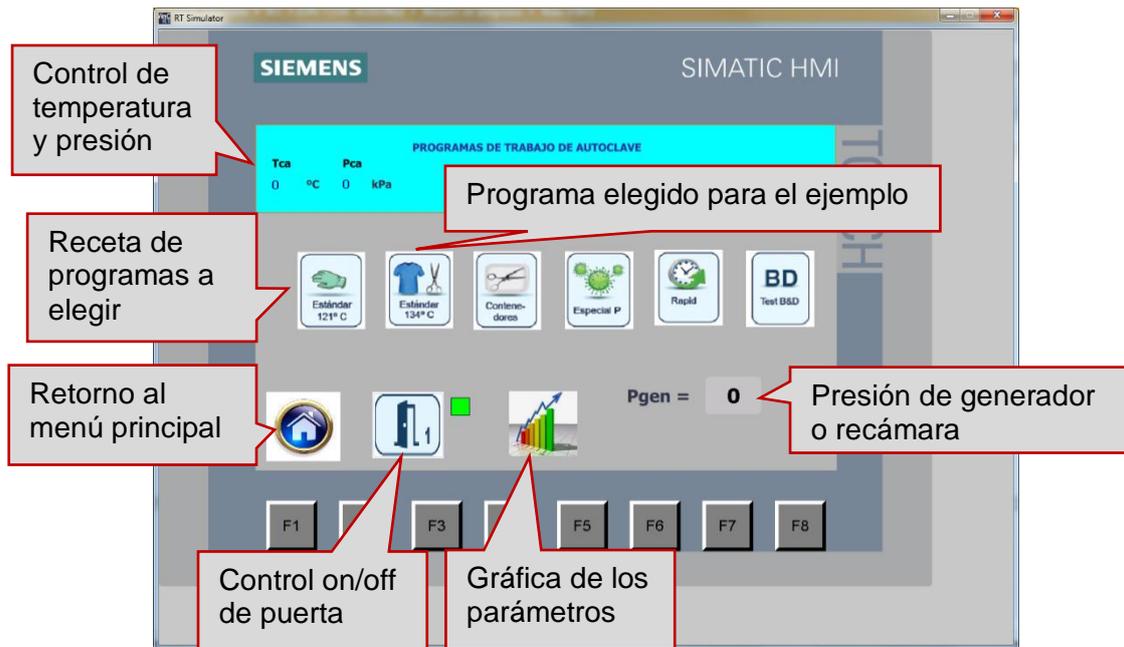


Figura 54: Receta de programas, mando y control del programa.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del ejemplo (figura 55) seguirá la secuencia del algoritmo del programa “Estándar 134 °C” al seleccionar o pulsar este icono, muestra la siguiente ventana donde se aprecia los iconos de mando para iniciar el proceso de esterilización o hacer el paro en cualquier etapa de la esterilización, también se visualiza con un cambio de tonalidad de colores el progreso del proceso de esterilización siendo el color rojo intenso cuando llega a la presión máxima netamente de esterilización, en la parte superior derecha se aprecia el reloj y la fecha en tiempo real y finalmente en este panel describimos el paro de emergencia digital este icono bloquea el sistema de control en caso de cualquier emergencia.

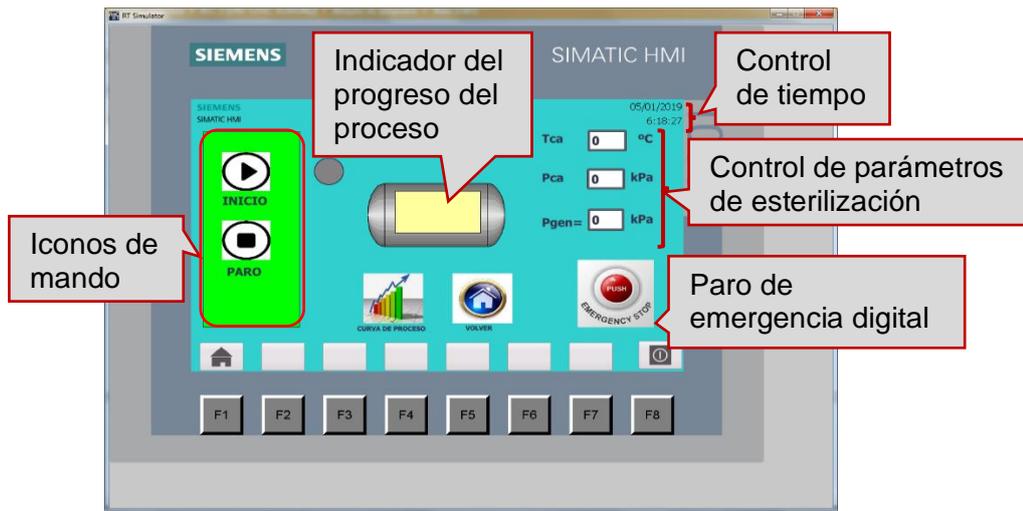


Figura 55: Panel del programa “Estándar 134 °C” seleccionado.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 56 muestra la secuencia del programa “Estándar 134 °C” que sigue por etapas de inicio a fin, para ello primero se deberá entender que el eje vertical es la que indica la presión en kPa y el eje horizontal el tiempo en minutos, la secuencia 0+0’ es el inicio y hasta 15 es el acondicionamiento, del 15 al 18 es la secuencia del calentamiento, de 18 al 19 la esterilización, de 19 al 20 es la desvalorización o la eliminación el vapor, del 20 al 21 la secuencia del secado y finalmente del 21 al 22 la compensación o igualación, aquí finaliza el proceso de esterilización.



Figura 56: La gráfica de la secuencia del programa "Estándar 134 °C".

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 13 es la representación textual de las secuencias por etapas, de la gráfica de las secuencias del programa "Estándar 134 °C".



Figura 57: Secuencia del programa elegible "Estándar 134 °C".

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13: Secuencias del proceso de esterilización por etapas.

Secuencias del proceso de esterilización por etapas.

Etapa	Secuencias
Inicio	0+0'
<b>Acondicionamiento</b> (0+0' al 15), divididos en 8 pulsos	Vacío (0+0' al 1) Inyección de vapor (1 al 2)
Calentamiento	15 al 18
Esterilización	18 al 19
Desvaporización	19 al 20
Secado	20 al 21
Igualación	21 al 22
FIN	22

Fuente: Elaboración propia.

La figura 58 muestra el panel de control y mando una vez pulsado el inicio, además indica la etapa en que se encuentra el proceso de esterilización, comienza con el VACÍO.



Figura 58: Panel Inicio del proceso de esterilización "VACÍO".

Fuente: Elaboración propia.

La figura 59 muestra la etapa de INYECCIÓN DE VAPOR con los parámetros de control correspondientes ingresados manualmente tal como se indica en la figura:



Figura 59: Variables del programa.

Fuente: Elaboración propia.

El VACÍO y la INYECCION DE VAPOR, la secuencia de 0+0' a 15, son pulsos de condicionamiento en el proceso de esterilización, estos pulsos repiten ocho veces, para la efectividad de la esterilización de un producto sanitario.

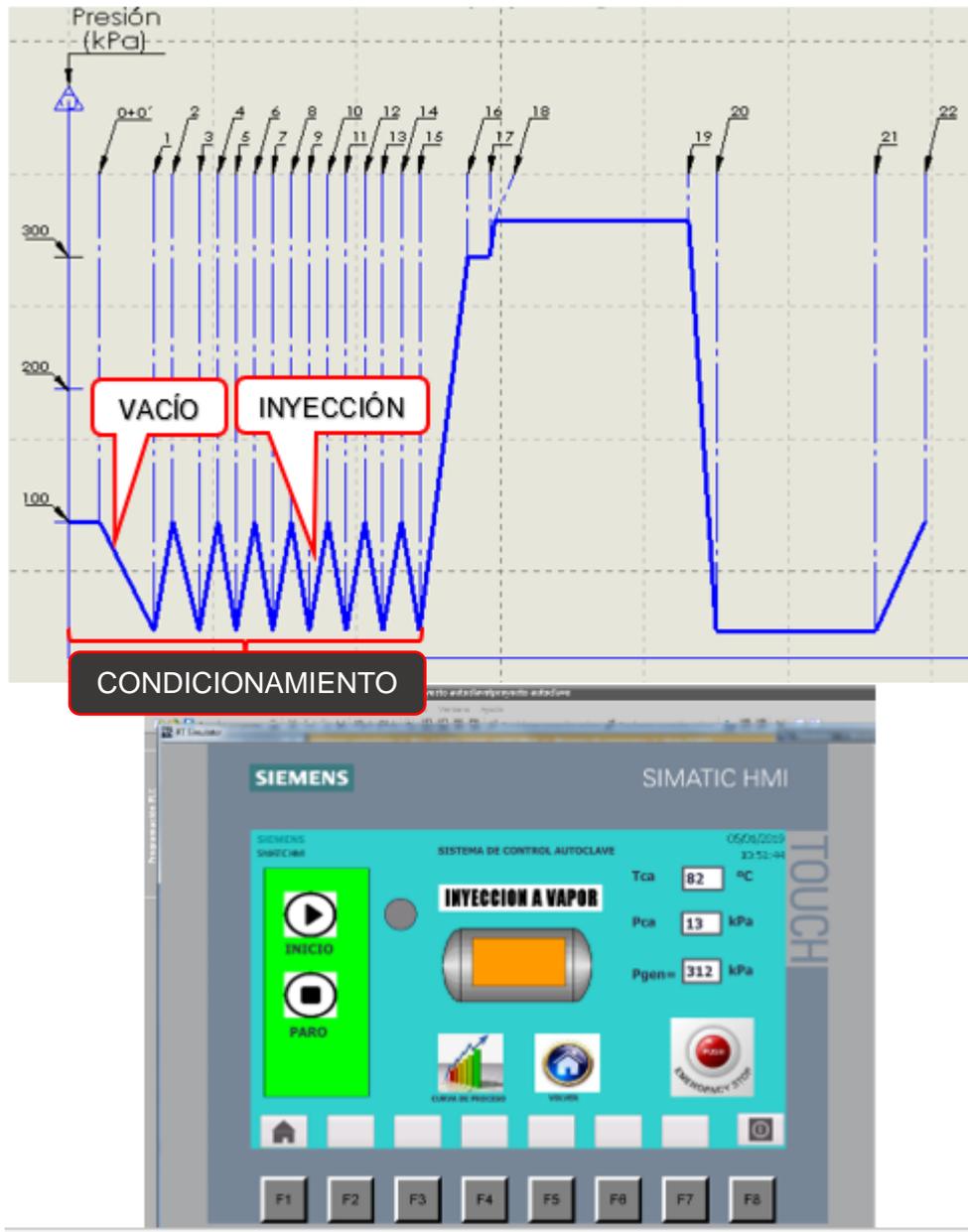


Figura 60: Panel condicionamiento del proceso de esterilización "INYECCION".

Fuente: Elaboración propia.

La figura 61 muestra la etapa del CALENTAMIENTO, la secuencia del 15 al 18 como muestra la gráfica de la figura siguiente.

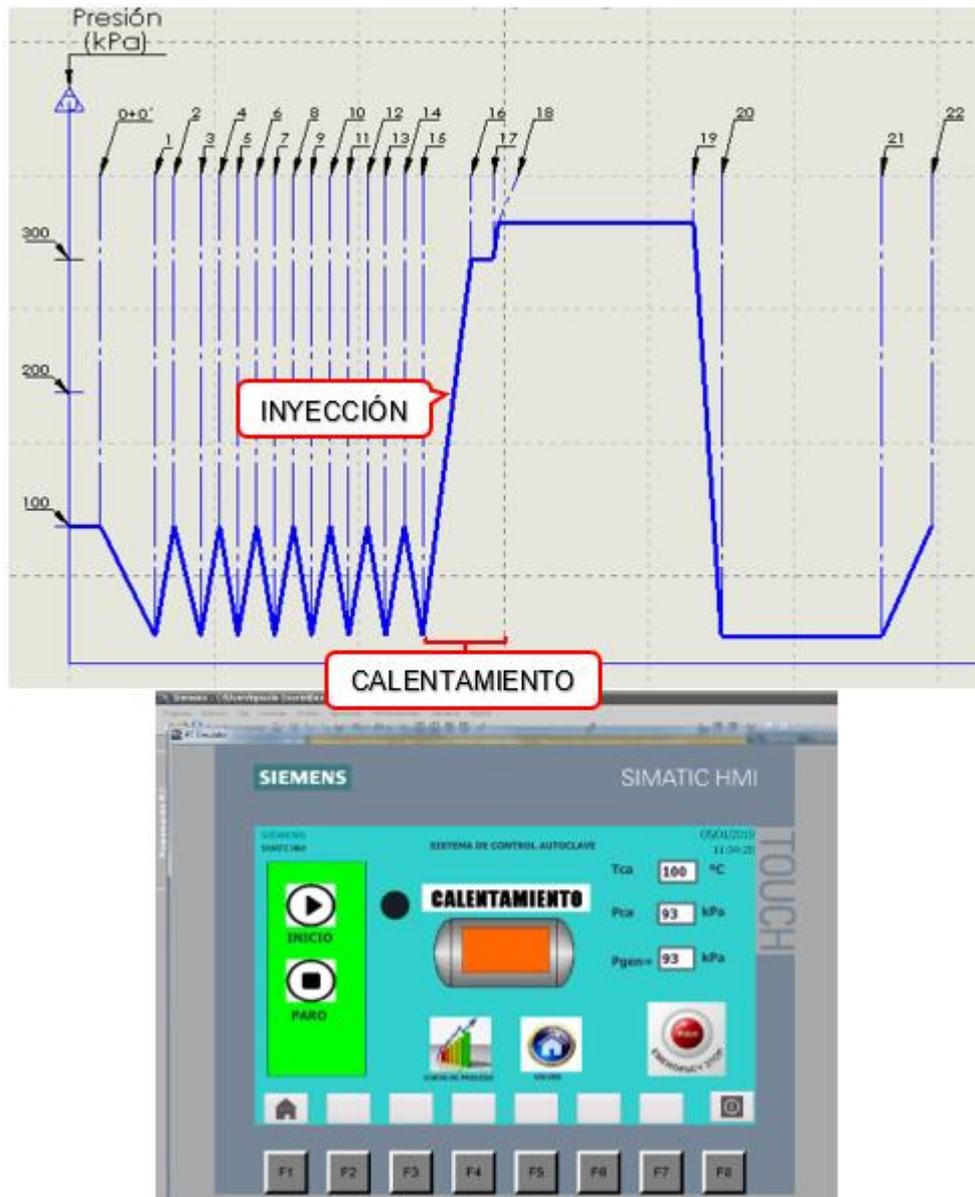


Figura 61: Panel de “CALENTAMIENTO” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez haber cumplido los dos parámetros de presión y temperatura homogénea en los dispositivos o equipos sanitarios en el condicionamiento, dentro de la cámara, está listo para darle el tercer parámetro el tiempo. Esta secuencia en la gráfica es del 18 al 19. El indicador de etapas muestra que está en ESTERILIZACIÓN.

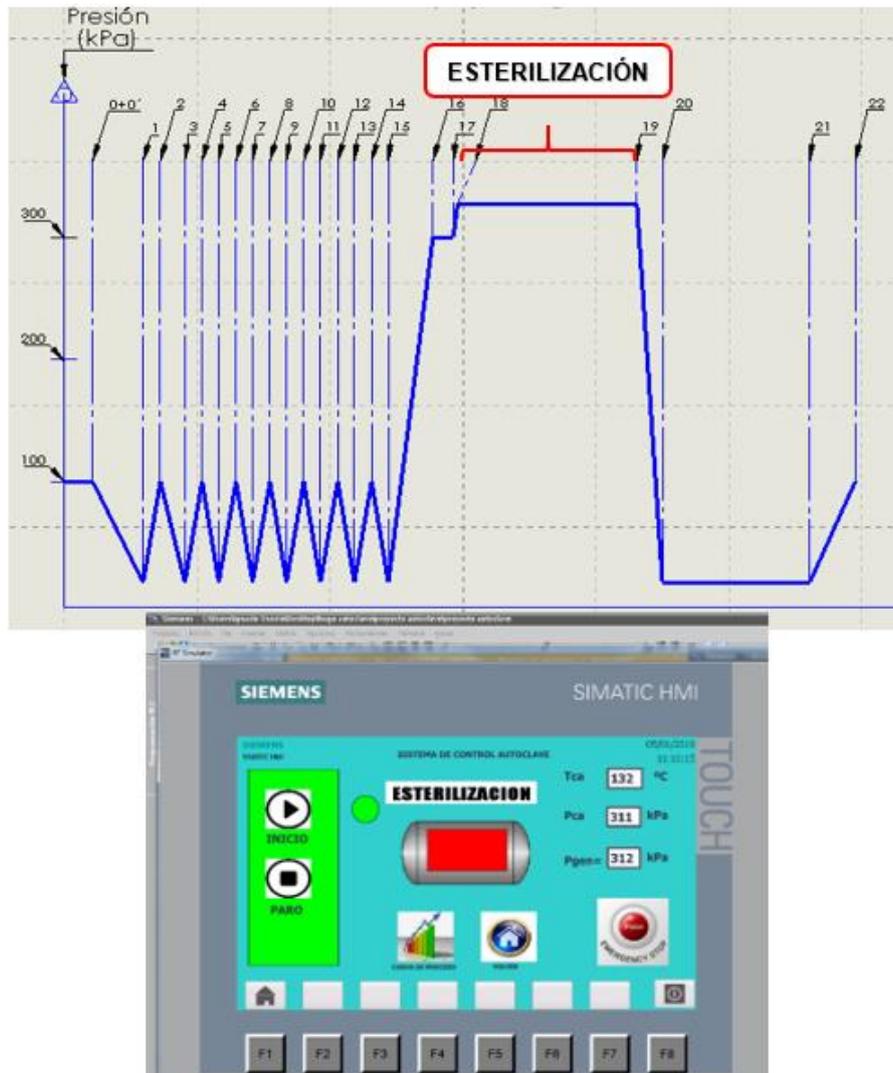


Figura 62: Panel de “ESTERILIZACION” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 el programa “Estándar 134 °C” debe cumplir estos parámetros establecidos.

Tabla 14: Parámetros de esterilización para un programa estándar.

Parámetros de esterilización para un programa estándar.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Prsión (kPa)	Secado (min)
7	134	312	20

Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de ESTERILIZACIÓN la gráfica en línea roja representa presión en kPa y línea azul la temperatura en °C, es la etapa más importante en el proceso de esterilización y debe ser obebada.

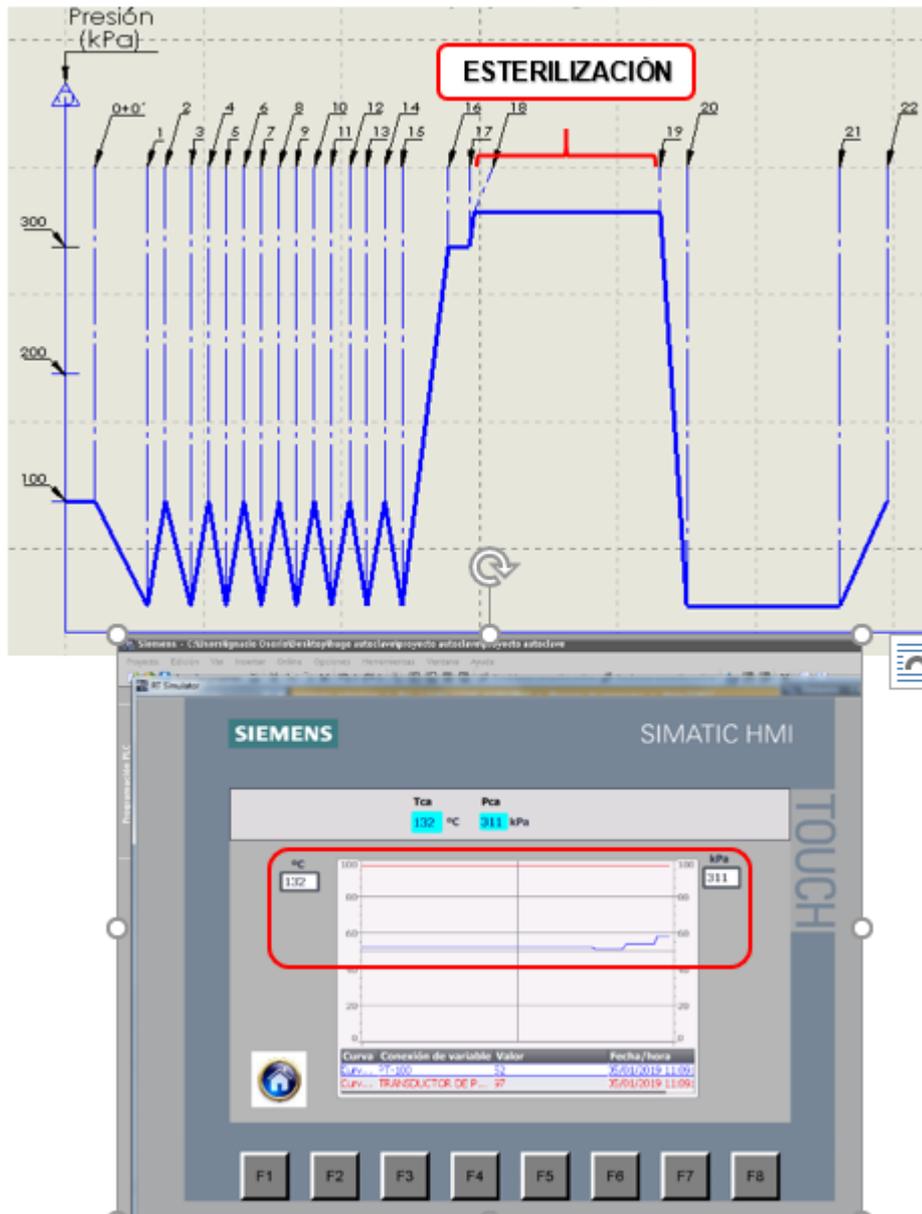


Figura 63: Panel de “ESTERILIZACIÓN” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 64 es la etapa de la DESVAPORIZACIÓN o eliminación del vapor de la cámara después de culminar la ESTERILIZACIÓN a través de un intercambiador de vapor para condensar y no descargar todo el vapor hacia el ambiente o sala de máquinas

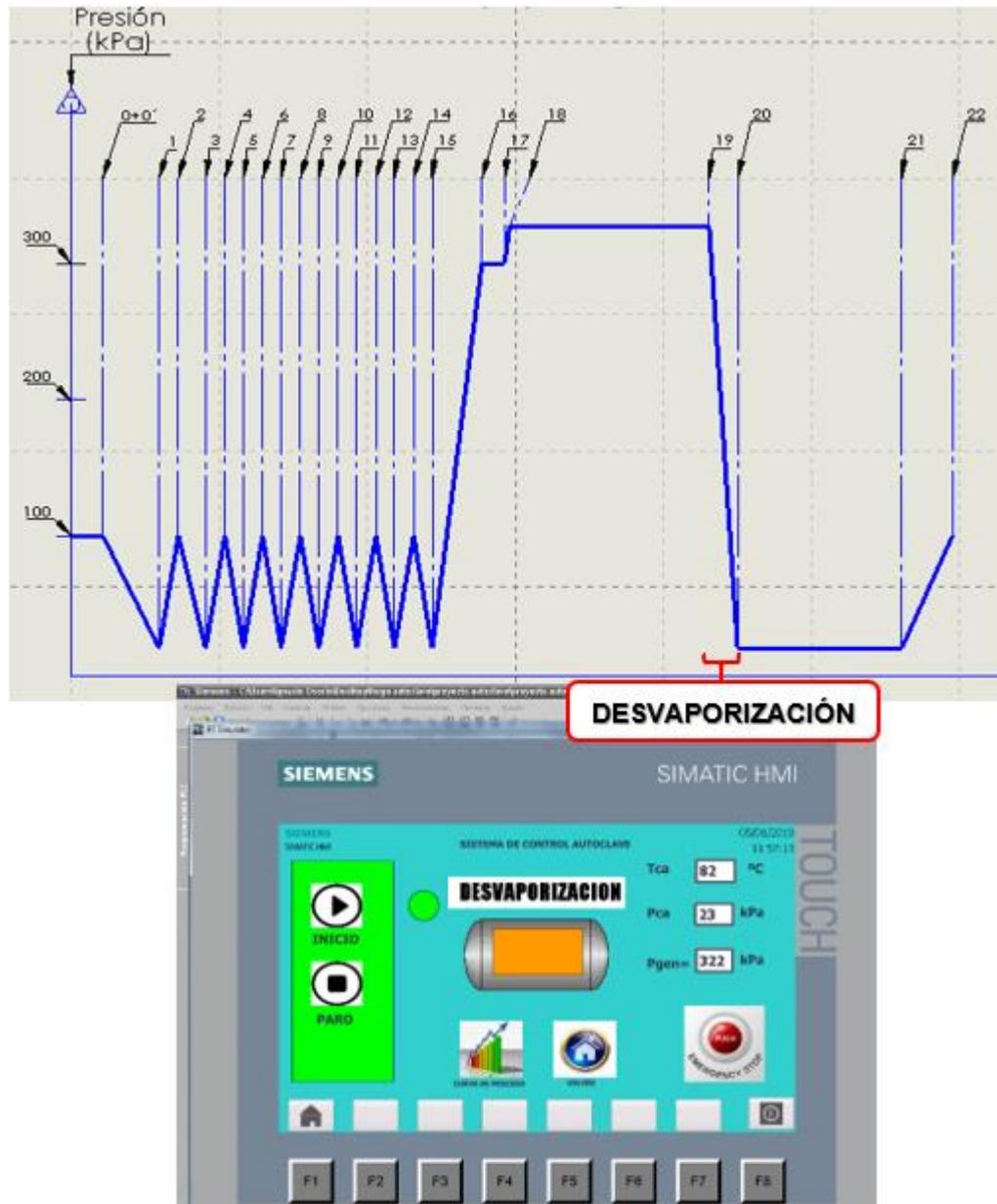


Figura 64: Panel de “DESVAPORIZACION” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 65 es la etapa de SECADO, es la eliminación del vapor residual del material estéril a través de un vacío o remoción mecánica con Venturi o bomba de vacío de anillo líquido

por un tiempo determinado y el material estéril debe salir seco si esta mojado esto se considera no estéril.

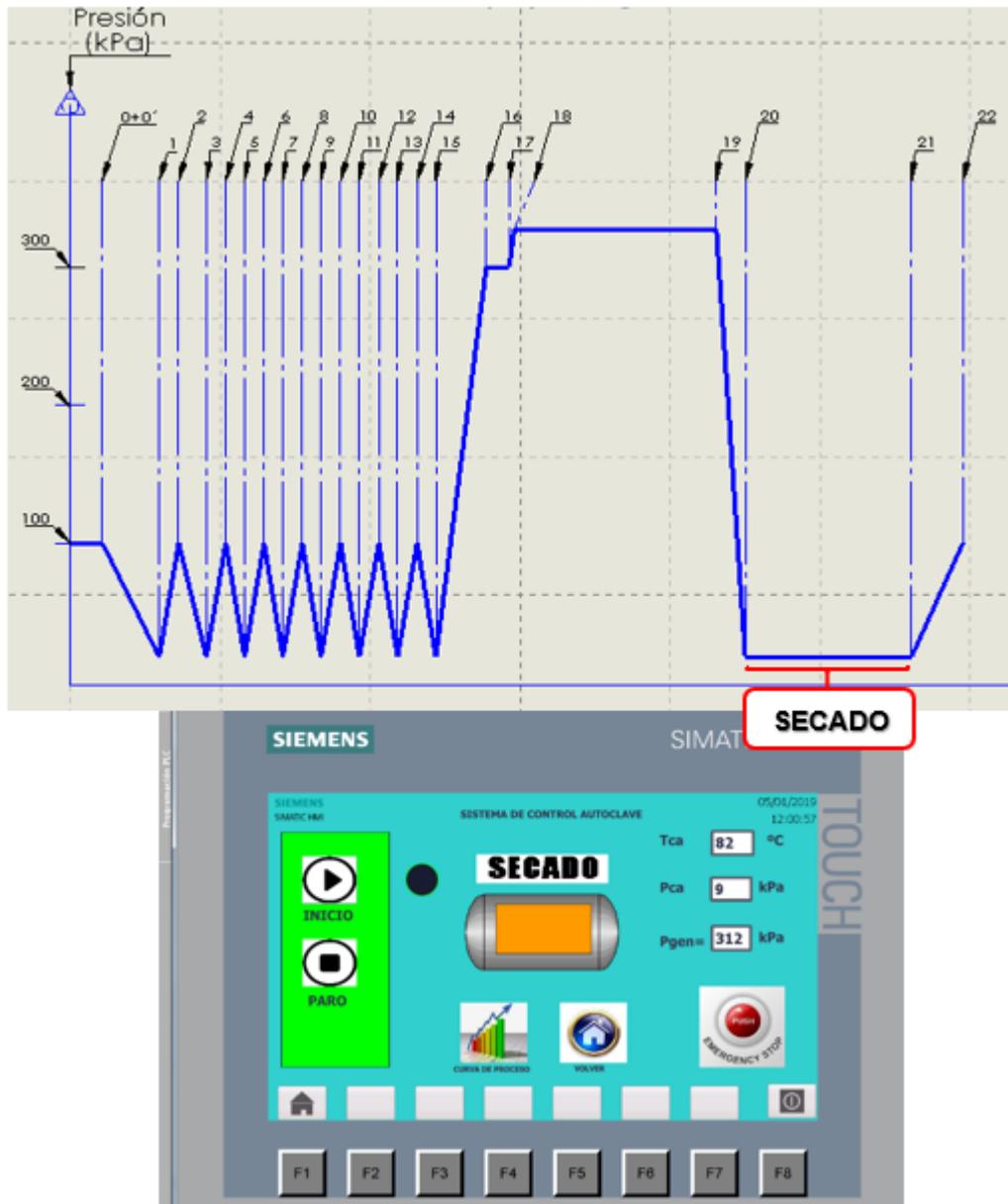


Figura 65: Panel de “DESIVAPORIZACION” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 66 muestra la etapa FINAL DEL CICLO después de hacer la compensación o igualación de presión de la cámara a la presión atmosférica, al finalizar el proceso emitirá un sonido con el zumbador audible indicando el fin del ciclo.

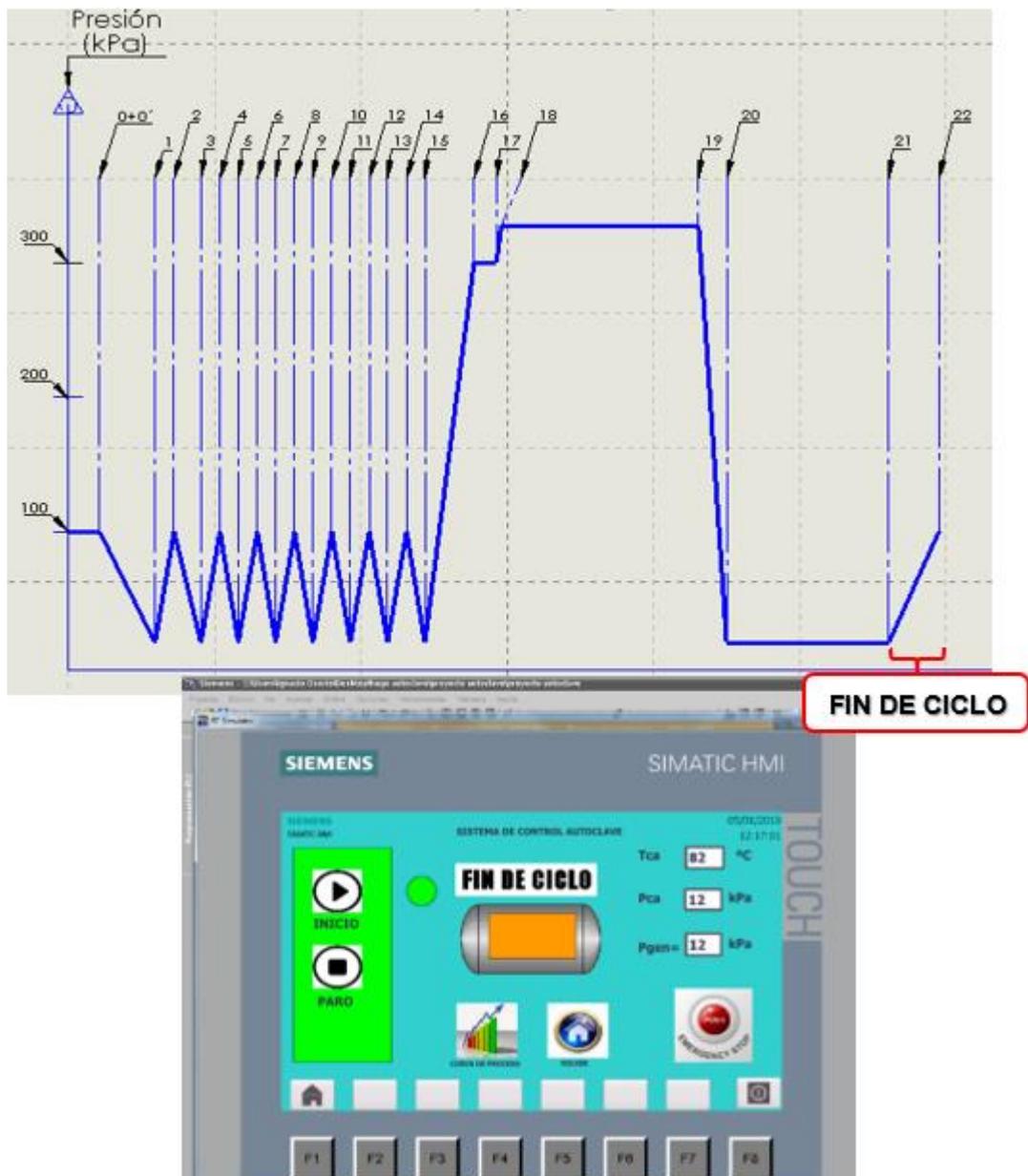


Figura 66: Panel de "FIN DE CICLO" del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Selección de materiales

La selección de materiales con los trabajos a realizar y los entregables para el cliente.

*Tabla 15: Materiales requeridos para la elaboración del control*

*Materiales requeridos para la elaboración del control.*

Ítem	Cantidad	<b>AUTOMATIZACION COMPLETA DE AUTOCLAVE</b>
1	1	<b>ALCANCE:</b> El proyecto comprende la ingeniería del sistema neumático, lógica programada (Ciclos), ingeniería descriptiva del dimensionamiento de componentes electrónicos.
2	1	<b>CARACTERISTICAS:</b> <b>TABLERO:</b> Material: Acero Inoxidable, Protección: IP65, Incluye cajuela protectora de HMI, Ensamblaje de Componentes electrónicos, neumáticos y eléctricos,
3	1	<b>COMPONENTES ELECTRONICOS:</b> PLC MODULAR / COM ETHERNET IP, Módulo de entradas Análogos 12bit, Módulo de salida Análoga 12 bit, Fuente IN: 220 VAC / OUT: 24VDC, HMI de 7" y Switch de 5 Puertos (ETHERNET).
4	1	<b>PROGRAMACION:</b> Lógica de funcionamiento, Lógica de recetas personalizadas y predefinidas, Mapeo de HMI y creación de pantallas de fácil acceso, visualización y configuración.
5	1	<b>ENTREGABLES:</b> Planos eléctricos completos, Lógica de programación, Programación del HMI, Programación del PLC y Manual de mantenimiento.
6	1	<b>PUESTA EN MARCHA</b> Montaje mecánico, eléctrico, electrónico y Pruebas de funcionamiento

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Circuito de control del motor utilizado

El sistema de esterilización por vapor hospitalario en estudio, es un sistema que es asistido de forma mecánica en la remoción del aire de la cámara durante el proceso de esterilización, con un Venturi o Ejector el cual a su vez requiere una presión constante de

agua a 3 bares, impulsado por una electrobomba multietapa auto aspirante “Espa Prisma 25 4”, con el siguiente circuito de control de arranque directo utilizado en el sistema.

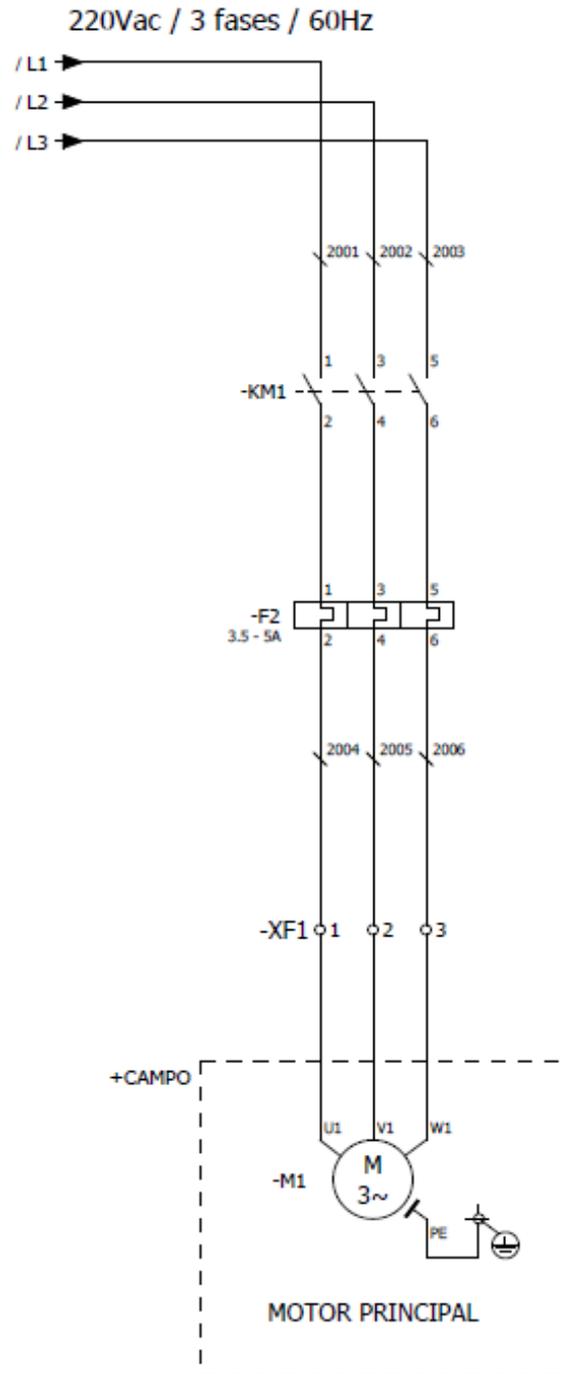


Figura 67: Circuito de control gráfica del motor de la electrobomba.

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 68: Circuito de control real del motor de la electrobomba.*

Fuente: Elaboración propia.

La electrobomba en cuestión, tiene las siguientes características mecánicas y eléctricas, los cuales permiten el dimensionamiento adecuado de un relé térmico o guardamotor para la protección de sobre corriente y evitar cualquier accidente que pudiera ocasionar.



Figura 69: Electrobomba centrífuga multietapa y datos.

Fuente: (Espa, 2016).

Según las características del motor la potencia mecánica es de 2HP, tensión 220V, considerando la eficiencia de  $\eta = 95\%$ , factor de potencia  $P_m = 0.85$  con los cuales se determina la corriente nominal ( $I_n$ ).

Siendo:  $1HP = 746W$

$$\frac{1HP}{2HP} = \frac{746W}{x}$$

Aplicando la regla de tres simple tendremos el producto para el resultado de  $x$ :

$$x = 746W * 2HP = 1492W$$

Es decir que la potencia mecánica es:  $P_m = 2HP = 1492W$ .

Y la corriente nominal  $I_n$  para un motor trifásico tiene la siguiente fórmula:

$$I_n = \frac{P_e}{\sqrt{3} * V * \cos \theta}$$

Siendo la incógnita la potencia eléctrica  $P_e$ , tiene la siguiente fórmula.

$$P_e = \frac{P_m}{\eta} = \frac{1492}{0.95} = 1570.53W$$

Como se podrá observar la  $P_e > P_m$  por los mismo que existe una perdida en las partes internas del motor y el trabajo, por tanto, reemplazando los datos es posible hallar la corriente nominal  $I_n$ .

$$I_n = \frac{P_e}{\sqrt{3} * V * \cos \theta} = \frac{1570.53}{\sqrt{3} * 220 * 0.85} = \frac{1570.53}{323.89} = 4.85A$$



Modelo Prisma 25

Modelo	I [A]		P1 [kW]		P2 [kW]		c [μF]	l/min	Código									
	1~230V	3~230V	1~	3~	[kW]	[HP]			15	30	45	60	75	90	105	120	1~230V	3~230V/400V
Prisma 25 2	4,3	-	-	0,9	-	0,55	0,75	16	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	97170	-
Prisma 25 3	5,5	3,5	2	1,2	1	0,75	1	16	33	32	31	28	26	22	17	12	97178	-
Prisma 25 4	6,8	4,3	2,5	1,5	1,4	0,9	1,2	16	43	42	40	37	33	28	22	15	97188	-
Prisma 25 5	7,4	5,2	3	1,7	1,7	1,1	1,5	25	56	55	53	48	43	37	29	20	97196	97194

Curva de funcionamiento a 2900 rpm

Figura 70: Datos técnicos de la electrobomba centrífuga multietapa.

Fuente: (Espa, 2016).

La corriente nominal  $I_n$  determina la capacidad o los límites de amperaje permitido para el arranque directo del motor de la electrobomba multietapa utilizado en el sistema de esterilización, el cual es objeto de estudio.

Para los conductores de fase, objeto a elegir, según la instrucción ITC-BT-47 del Reglamento Electrotécnico para Baja tensión (REBT), los conductores de arranque directo deberán estar dimensionados para una intensidad del 125% de la intensidad a plena carga del motor.

$$I_s = 4.85A * 1.15 = 5.58A$$

El conductor se considera con la intensidad de 6A según la tabla empleando un conductor de cobre, para un conductor de fase de  $1.5 \text{ mm}^2$ , con intensidad 15A.

Como la sección mínima para los circuitos de fuerza es de  $2.5 \text{ mm}^2$ , por tanto, es considerada esta sección de conductor de cobre para la instalación.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1 Resultados

Al mejorar el proceso de esterilización en el entorno de TIA Portal de Siemens, en la simulación se pudo lograr los objetivos principales con la simulación con S7-PLCSIM, nos remitimos a las pruebas realizadas, que efectivamente el interfaz hombre máquina cumple con los requerimientos de funcionalidad que deben tener todos los softwares HMI, tales como el monitoreo y supervisión de variables, reportar el estado de los componentes en caso este se encuentre bajo el efecto de error.

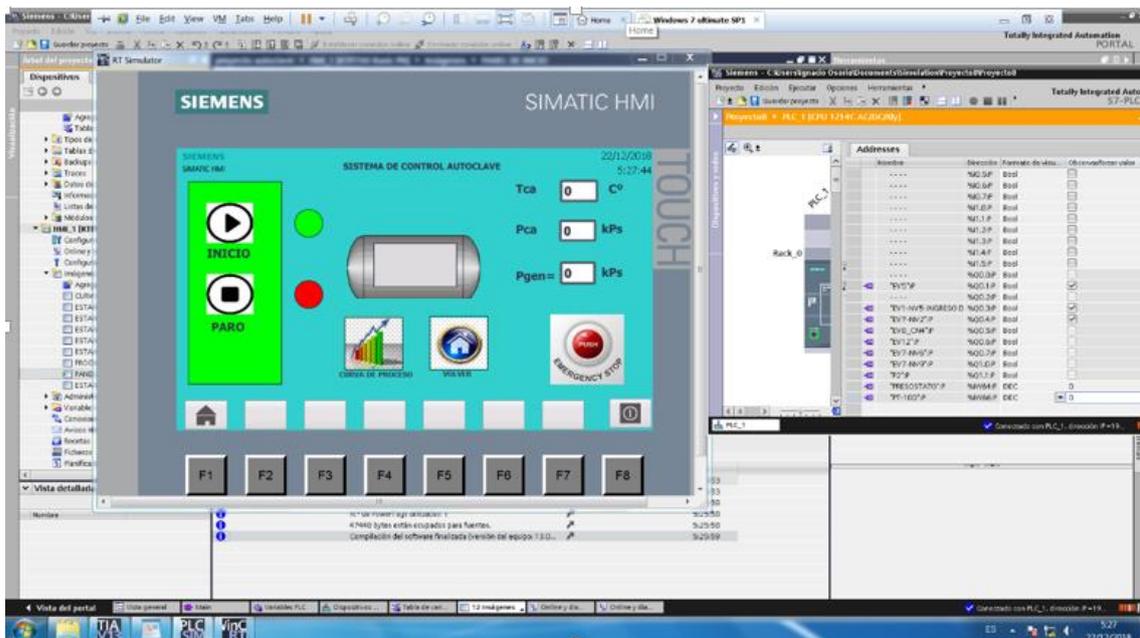


Figura 71: Simulación desde el entorno HMI de un programa estándar de 134°C.

Fuente: Elaboración propia.

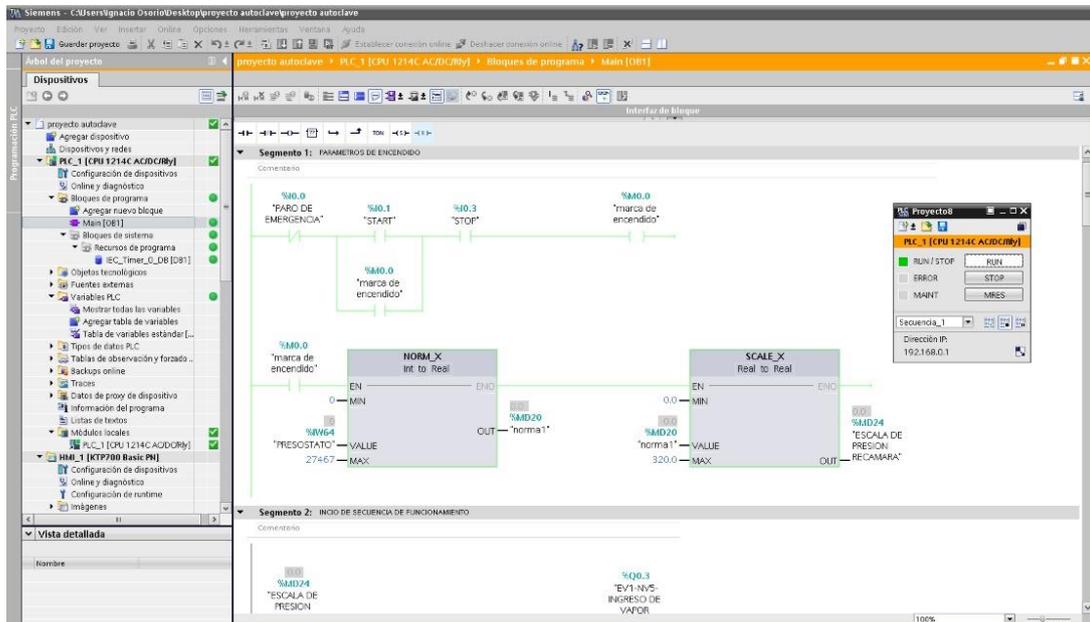


Figura 72: Resultado con la ejecución desde el HMI la secuencia programada en funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente cuadro nos muestra la relación que existe entre la estructura de control con los anexos y el cumplimiento del propósito Análisis, Diseño y simulación; en la orden correspondiente.

Tabla 16: Cuadro de correspondencia del cumplimiento de los resultados.

Cuadro de correspondencia del cumplimiento de los resultados.

Correspondencia	Sub títulos	Cumplimiento
Capítulo 3	3.1.3 Estructura de Control del Equipo	Cumple
Anexo III	Secuencia de Funcionamiento	Cumple
Anexo V	Programación Ladder en el entorno TIA Portal.	Cumple
Anexo VI	Simulación	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

En los siguientes pasos se muestran la comparación y la relación asignada entre el HMI y el PLC según la secuencia programada, para la ejecución de un programa, para el caso de estudio el programa “Estándar 134°C”.

HMI	PLC
-----	-----

La secuencia de programación por etapas en el entorno de TIA portal, está en los segmentos que muestra la figura, del Segmento 1 es donde inicia la programación o secuencia hasta el Segmento 13 de igualación y el fin del ciclo del proceso de esterilización.

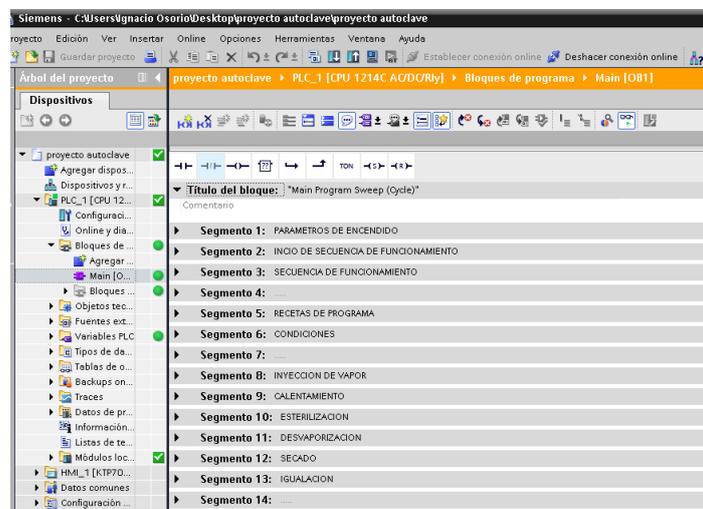


Figura 73: Secuencia de programación por etapas.

Fuente: Elaboración propia.

1. La figura siguiente representa la etapa inicial o bienvenida una vez encendida el equipo con un interruptor físico que puede ser de tipo pulsador o llave, por defecto será activado EV1-NV5 (Electroválvula neumática-Válvula Neumática de ingreso de vapor a la Recamara) y PS5 PRESOSTATO para el control de EV1-NV5 respectivamente, la presión de timbre en la recámara es de 312kPa o 3Bar mientras el equipo esté encendido. EV5 (Electroválvula de agua del colector de condensados), estará en forma permanente encendido con restricción para economizar el agua con FV2 (Restrictor de entrada de agua al depósito). EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula Neumática de igualación), encendido o activado mientras el equipo está encendido o cuando está en modo de espera (estambay).

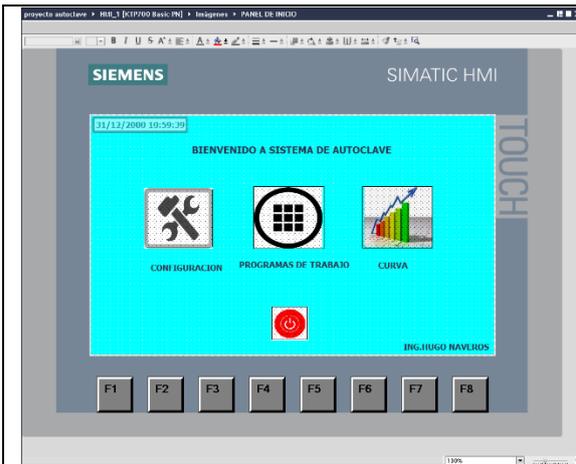


Figura 74: Panel bienvenida del HMI.

Fuente: Elaboración propia.

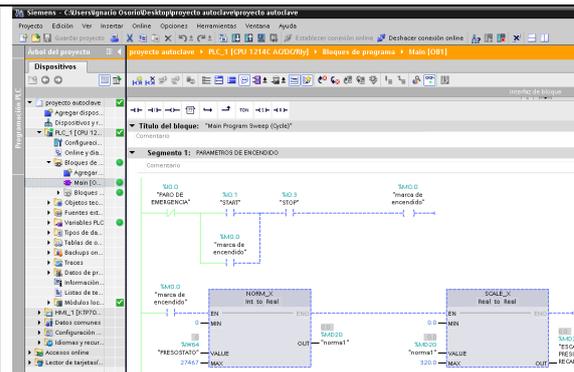


Figura 75: Secuencia al encender.

Fuente: Elaboración propia.

2. Si se quiere elegir en la receta cualquiera de los programas, según material a esterilizar se abrirá otra pantalla que en nuestro caso como ejemplo seleccionaremos el “Estándar 134 °C”.



Figura 76: Receta de programas elegibles.

Fuente: Elaboración propia.

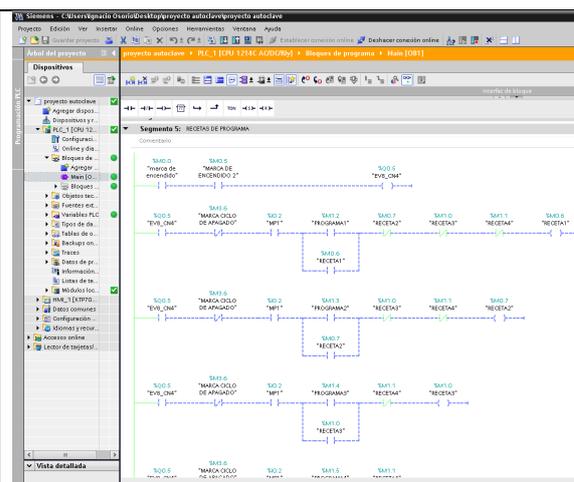


Figura 77: Receta de selección de programas.

Fuente: Elaboración propia.

3. Si se selecciona cualquiera de los programas se abrirá una pantalla como la siguiente, en este caso se ha seleccionado el programa “Estándar 134°C”.
  - a) Tiene los siguientes parámetros: presión 312kPa, temperatura 134°C y 7 minutos de esterilización.

En esta etapa el equipo ya debe estar cargada la cámara con material a esterilizar y cerrada la puerta con EV8-CN4 (Electroválvula neumática-Pistón de desplazamiento de puerta P.Z.N.E. “Puerta Zona No Estéril”), confirmada el cierra de la puerta con MP1 (Final de carrera P.Z.N.E.), si cumple esas condiciones pasamos al paso 4.

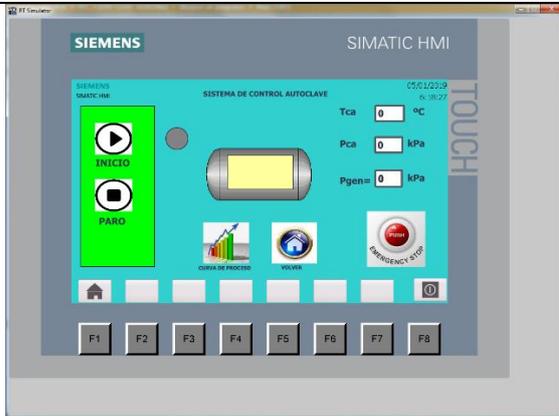


Figura 78: Características y parámetros del programa estándar.

Fuente: Elaboración propia.

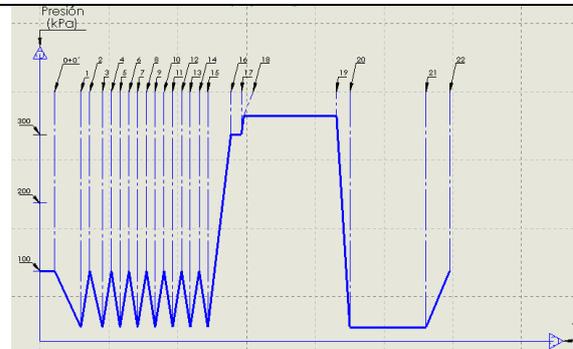


Figura 79: Diagrama programa “Estándar 134 °C”.

Fuente: Elaboración propia.

4. Para INICIAR el programa elegido presionar o pulsar la tecla , en seguida inicia el proceso de esterilización automática, y seguirá el proceso según el algoritmo preestablecido, el cual se muestra en la siguiente ilustración.

- a) Al pulsar la tecla de INICIO se cierra (apaga) la EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de igualación).
- b) Enciende EV12 (Electroválvula de agua del colector de condensados), estará encendido mientras P2 (Bomba de vacío) está encendido, esto sirve para mantener el agua lo suficientemente fresco para el vació eficiente, también lleva un restrictor para economizar el agua con FV2 (Restrictor de entrada de agua al depósito).
- c) Enciende la EV7-NV6 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de burletes o empaquetadura)
- d) Enciende la EV2-NV9 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de la Bomba de vacío).



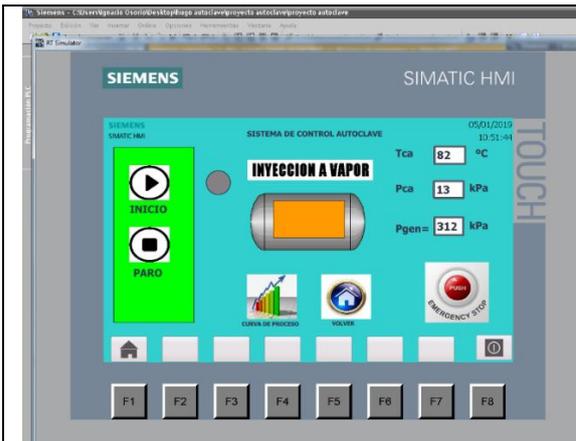


Figura 82: Panel condicionamiento  
"INYECCION".

Fuente: Elaboración propia.

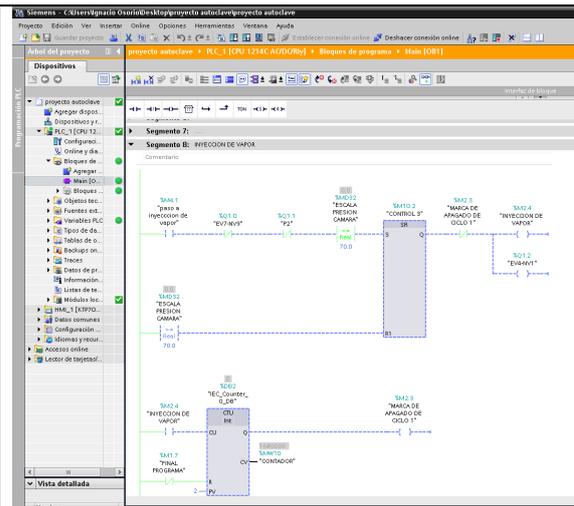


Figura 83: Secuencia de Inyección.

Fuente: Elaboración propia.

7. La gráfica de la figura 73, de 15 hasta 17 es el CALENTAMIENTO para este caso los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática- Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 290kPa y mantiene por un tiempo de 30 segundos, controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
  - a) La pantalla muestra que está en la fase CALENTAMIENTO.
8. La gráfica de la figura 73, de 17 hasta 18 es el último incremento para este caso los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática- Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 290kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
  - a) La pantalla muestra que está en la fase CALENTAMIENTO. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.

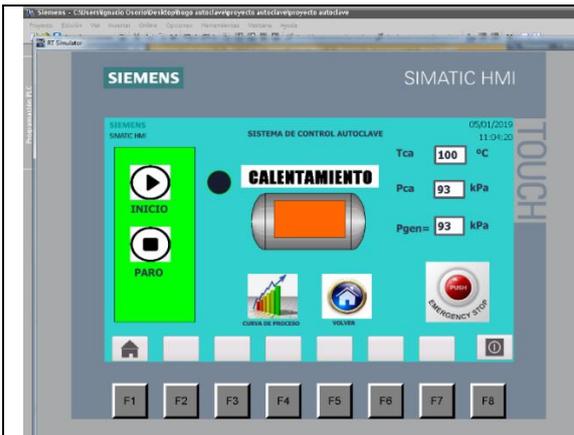


Figura 84: Panel de "CALENTAMIENTO".

Fuente: Elaboración propia.

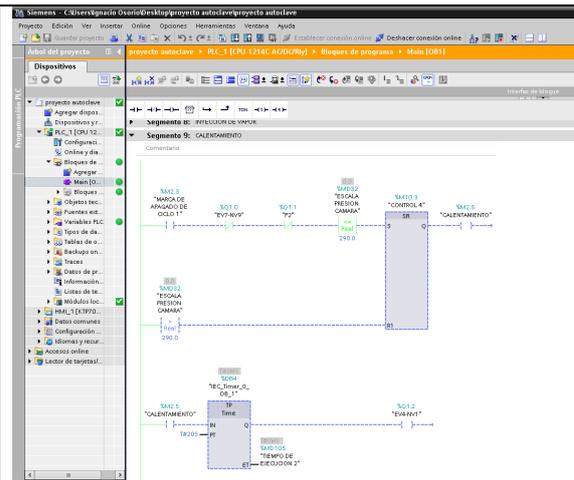


Figura 85: Secuencia de calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

9. La gráfica de la figura 73, de 18 hasta 19 es la ESTERILIZACIÓN para este caso, los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática- Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 312kPa mantiene por un tiempo de 7 minutos, controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
  - a) La pantalla muestra que está en la fase ESTERILIZACION. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.

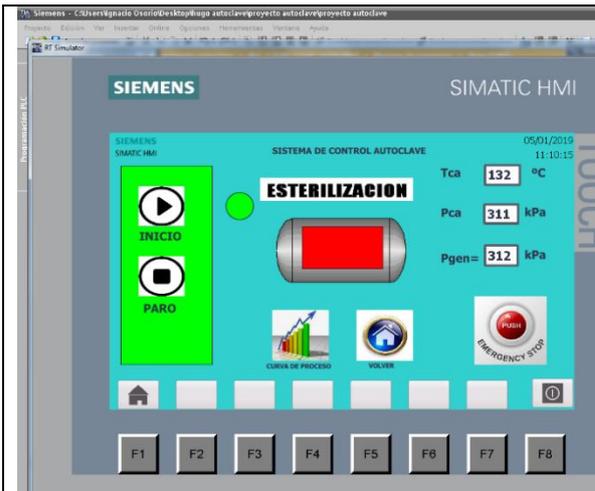


Figura 86: Panel de "ESTERILIZACION".

Fuente: Elaboración propia.

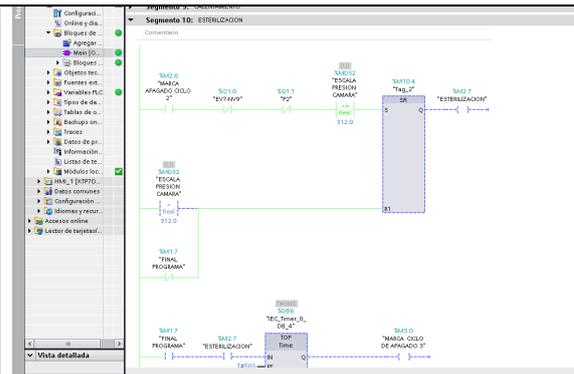


Figura 87: Secuencia de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

10. La gráfica de la figura 73, de 19 hasta 20 es la desvaporización para este caso los pasos a y c del anterior párrafo 4. mantiene la misma posición, enciende la EV11 (Electroválvula de desvalorización), expulsa vapor de la cámara hasta una presión de 115kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

- a) La pantalla muestra que está en la fase DESVAPORIZACION. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.

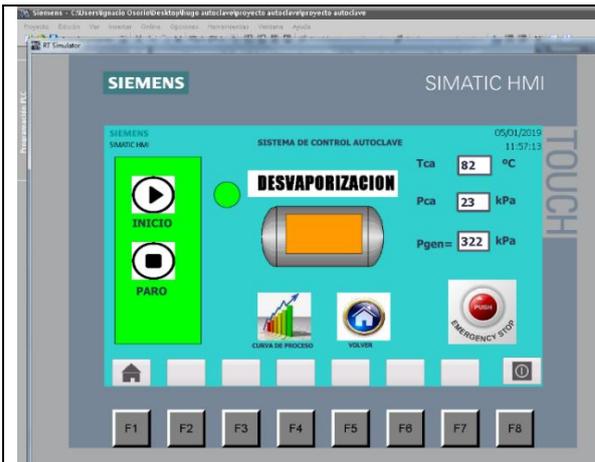


Figura 88: Panel de "DESVPORIZACION".

Fuente: Elaboración propia.

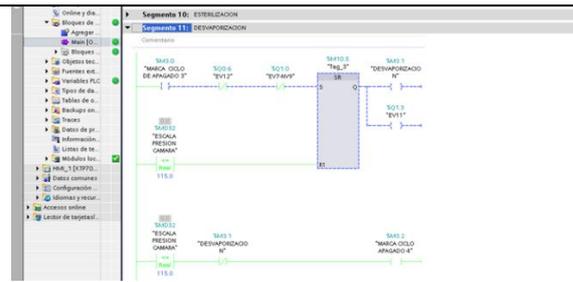


Figura 89: Secuencia de Desvaporización.

Fuente: Elaboración propia.

11. La gráfica de la figura 73, de 20 hasta 21 es el secado para este caso los pasos b hasta e del anterior párrafo 4. mantiene la misma posición, hasta llegar a una presión por debajo de 10kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

- a) La pantalla muestra que está en la fase SECADO. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.

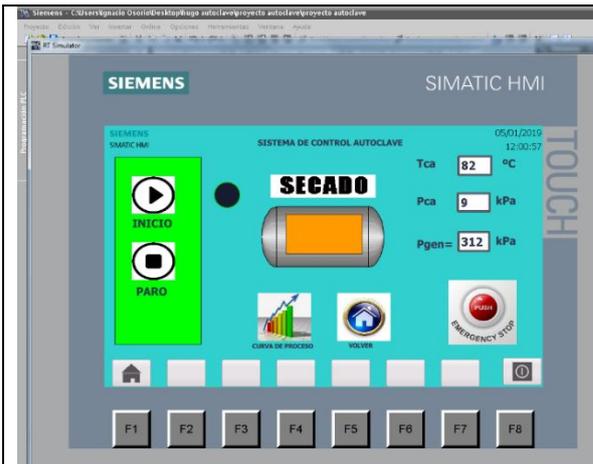


Figura 90: Panel de "SECADO".

Fuente: Elaboración propia.

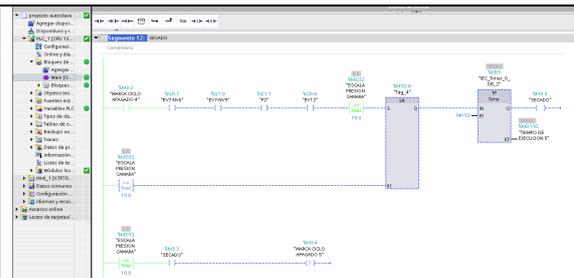


Figura 91: Secuencia de secado.

Fuente: Elaboración propia.

12. La gráfica de la figura 73, de 21 hasta 22 es la igualación para este caso el paso a del anterior párrafo 4. b, c, d y e, se apagan enciende la EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de igualación), hasta llegar a una presión de 100kPa esta presión es igual a la presión atmosférica y es controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

- a) La pantalla muestra que está en la fase IGUALACION. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.
- b) En seguida la pantalla muestra FINAL DEL CICLO acompañado con una señal audible indicando el fin del proceso de esterilización.

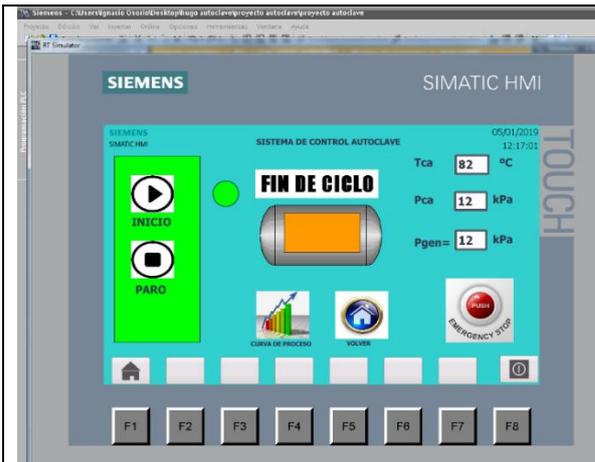


Figura 92: Panel de “FIN DE CICLO”.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Presupuesto

La guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyecto (Guía del PMBOK) o Instituto de Dirección de Proyectos (PMI), es una guía de conocimiento para el desarrollo profesional de un proyecto, probados y desarrollados por profesionales dedicados a la materia, según (Conexiónesan, 2018) “es una norma norteamericana muy reconocida en el campo de la gestión de proyectos al punto que es adoptada en muchos países” (pág. 1). Brinda un marco de referencia para desarrollar cualquier proyecto objetivo, guía que ayuda a seguir los pasos para lograr los objetivos propuestos en un proyecto.

En referencia a continuación se muestra la Estructura Desglosada de Trabajo (EDT) del presente proyecto en estudio, elaborado en un software basado en Windows para el desarrollo de proyectos en donde se crea y se visualizan los proyectos en diagramas (WBS Schedule Pro 5.1). En el anexo IV se visualiza con mayor amplitud el diagrama.

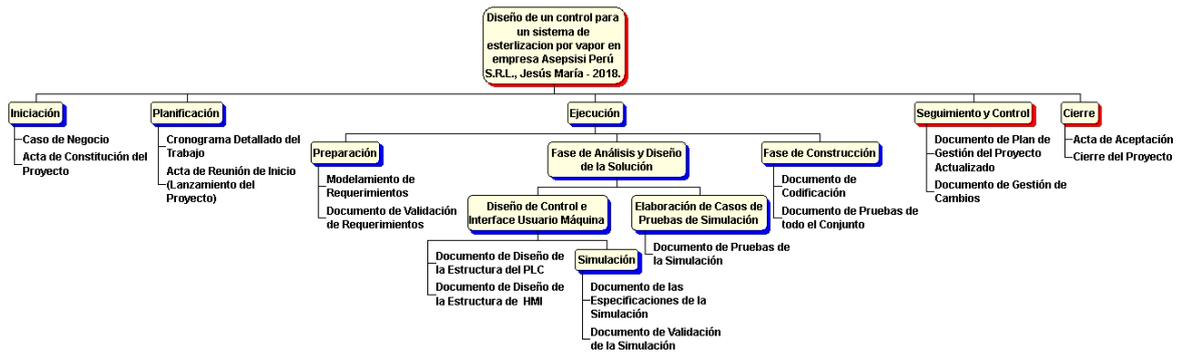


Figura 93: Diagrama de EDT compacta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Presupuesto con costo y duración detallada.

Presupuesto con costo y duración detallada.

WBS	Name	Duration	Actual Cost	Actual Duration
<b>1</b>	<b>Diseño de un control para un sistema de esterilización por vapor en empresa Asepsisi Perú S.R.L., Jesús María - 2018.</b>	<b>86d?</b>	<b>S/ 14,206.30</b>	<b>76.89d</b>
<b>1.1</b>	<b>Iniciación</b>	<b>6d</b>	<b>S/ 1,100.00</b>	<b>6d</b>
1.1.1	Caso de Negocio	2d	S/ 400.00	2d
1.1.2	Acta de Constitución del Proyecto	3d	S/ 700.00	3d
<b>1.2</b>	<b>Planificación</b>	<b>8d</b>	<b>S/ 1,386.56</b>	<b>8d</b>
1.2.1	Cronograma Detallado del Trabajo	6d	S/ 1,200.00	6d
1.2.2	Acta de Reunión de Inicio (Lanzamiento del Proyecto)	2d	S/ 186.56	2d
<b>1.3</b>	<b>Ejecución</b>	<b>58d?</b>	<b>S/ 10,661.40</b>	<b>54.13d</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Preparación</b>	<b>8d</b>	<b>S/ 1,465.60</b>	<b>8d</b>
1.3.1.1	Modelamiento de Requerimientos	6d	S/ 1,200.00	6d
1.3.1.2	Documento de Validación de Requerimientos	2d	S/ 265.60	2d
<b>1.3.2</b>	<b>Fase de Análisis y Diseño de la Solución</b>	<b>43d?</b>	<b>S/ 7,395.80</b>	<b>39d</b>
<b>1.3.2.1</b>	<b>Diseño de Control e Interface Usuario Máquina</b>	<b>37d?</b>	<b>S/ 7,096.80</b>	<b>37d</b>
1.3.2.1.1	Documento de Diseño de la Estructura del PLC	15d	S/ 3,000.00	15d
1.3.2.1.2	Documento de Diseño de la Estructura de HMI	13d	S/ 2,600.00	13d
<b>1.3.2.1.3</b>	<b>Simulación</b>	<b>9d?</b>	<b>S/ 1,496.80</b>	<b>9d</b>
1.3.2.1.3.1	Documento de las Especificaciones de la Simulación	5d	S/ 1,000.00	5d
1.3.2.1.3.2	Documento de Validación de la Simulación	4d?	S/ 496.80	4d
<b>1.3.2.2</b>	<b>Elaboración de Casos de Pruebas de Simulación</b>	<b>6d</b>	<b>S/ 299.00</b>	<b>2d</b>
1.3.2.2.1	Documento de Pruebas de la Simulación	6d	S/ 299.00	2d
<b>1.3.3</b>	<b>Fase de Construcción</b>	<b>9d</b>	<b>S/ 1,800.00</b>	<b>9d</b>
1.3.3.1	Documento de Codificación	4d	S/ 800.00	4d
1.3.3.2	Documento de Pruebas de todo el Conjunto	5d	S/ 1,000.00	5d
<b>1.4</b>	<b>Seguimiento y Control</b>	<b>9d</b>	<b>S/ 1,058.34</b>	<b>7.88d</b>
1.4.1	Documento de Plan de Gestión del Proyecto Actualizado	5d	S/ 800.00	5d
1.4.2	Documento de Gestión de Cambios	3d	S/ 258.34	2d
<b>1.5</b>	<b>Cierre</b>	<b>4d</b>	<b>S/ 0.00</b>	<b>0d</b>
1.5.1	Acta de Aceptación	2d	S/ 0.00	0d
1.5.2	Cierre del Proyecto	2d	S/ 0.00	0d

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Hoja de recursos de interesados, materiales y costos.

Hoja de recursos de interesados, materiales y costos.

Nombre del recurso	Tipo	Iniciales	Capacidad máxima	Tasa estándar	Tasa horas extra	Costo/Usos	Acumular
Livio Dulanto	Trabajo	LD	100%	S/ 12.50/hora	S/ 12.50/hora	S/ 0.00	Prorrateo
Carlos Bozzo	Trabajo	CB	100%	S/ 6.90/hora	S/ 6.90/hora	S/ 0.00	Prorrateo
Rosa Carbajal	Trabajo	RC	100%	S/ 6.25/hora	S/ 6.25/hora	S/ 0.00	Prorrateo
Walter Izaguirre	Trabajo	WI	100%	S/ 5.83/hora	S/ 5.83/hora	S/ 0.00	Prorrateo
Hugo Naveros	Trabajo	HN	100%	S/ 12.50/hora	S/ 12.50/hora	S/ 0.00	Prorrateo
José Araoz	Trabajo	JA	100%	S/ 8.30/hora	S/ 8.30/hora	S/ 0.00	Prorrateo
Anthony Fernández	Trabajo	AF	100%	S/ 6.90/hora	S/ 6.90/hora	S/ 0.00	Prorrateo
PC	Material	P		S/ 4.17		S/ 0.00	Prorrateo
PLC	Material	P		S/ 0.00		S/ 1,600.00	Prorrateo
HMI	Material	H		S/ 0.00		S/ 2,000.00	Prorrateo

<i>Fuente de alimentación</i>	<i>Material</i>	<i>F</i>		<i>S/ 0.00</i>		<i>S/ 332.00</i>	<i>Prorrateso</i>
-------------------------------	-----------------	----------	--	----------------	--	------------------	-------------------

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Cronograma

El cronograma nos muestra ya sea gráficamente o literalmente el tiempo de empleo en detalle la dedicación prevista para una determinada labor a seguir, según la secuencia programada.

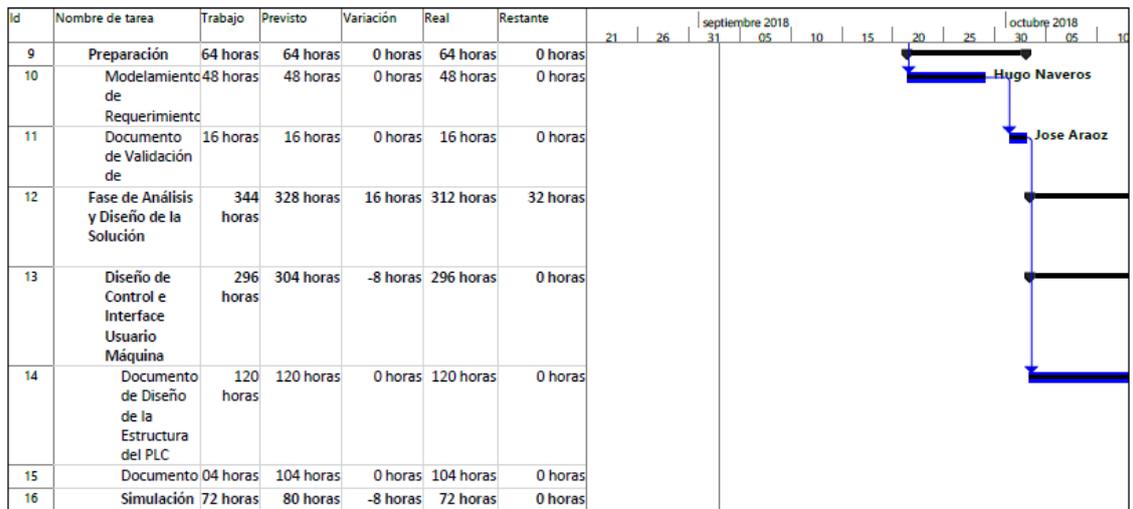
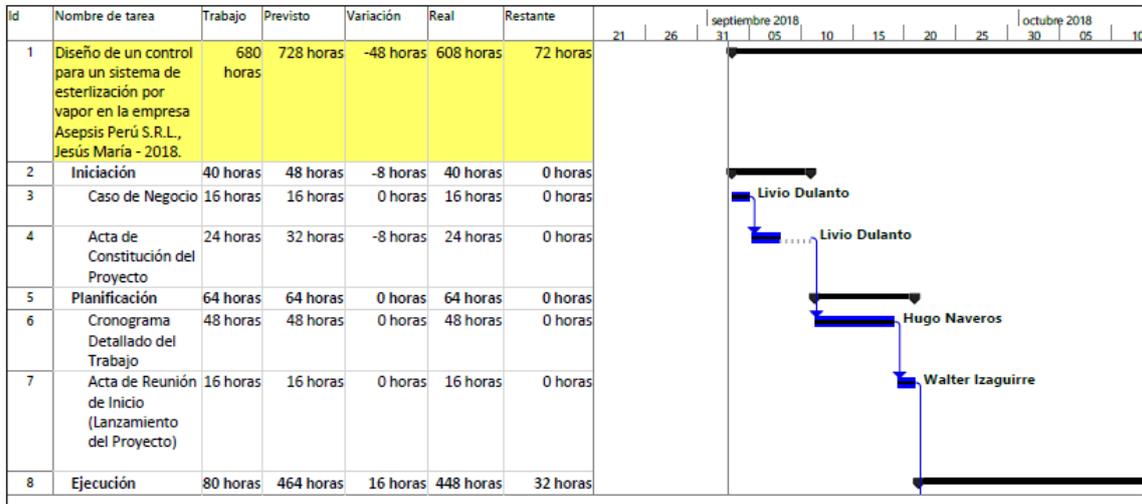
Tabla 19: Cuadro de cronograma detallado.

WBS	Name	Start	Finish	Duration
<b>1</b>	<b>Diseño de un control para un sistema de esterilización por vapor en empresa Asepsisi Perú S.R.L., Jesús María - 2018.</b>	<b>03/09/2018</b>	<b>31/12/2018</b>	<b>86d?</b>
<b>1.1</b>	<b>Iniciación</b>	<b>03/09/2018</b>	<b>10/09/2018</b>	<b>6d</b>
1.1.1	Caso de Negocio	03/09/2018	04/09/2018	2d
1.1.2	Acta de Constitución del Proyecto	05/09/2018	10/09/2018	3d
<b>1.2</b>	<b>Planificación</b>	<b>11/09/2018</b>	<b>20/09/2018</b>	<b>8d</b>
1.2.1	Cronograma Detallado del Trabajo	11/09/2018	18/09/2018	6d
1.2.2	Acta de Reunión de Inicio (Lanzamiento del Proyecto)	19/09/2018	20/09/2018	2d
<b>1.3</b>	<b>Ejecución</b>	<b>21/09/2018</b>	<b>11/12/2018</b>	<b>58d?</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Preparación</b>	<b>21/09/2018</b>	<b>02/10/2018</b>	<b>8d</b>
1.3.1.1	Modelamiento de Requerimientos	21/09/2018	28/09/2018	6d
1.3.1.2	Documento de Validación de Requerimientos	01/10/2018	02/10/2018	2d
<b>1.3.2</b>	<b>Fase de Análisis y Diseño de la Solución</b>	<b>03/10/2018</b>	<b>30/11/2018</b>	<b>43d?</b>
<b>1.3.2.1</b>	<b>Diseño de Control e Interface Usuario Máquina</b>	<b>03/10/2018</b>	<b>22/11/2018</b>	<b>37d?</b>
1.3.2.1.1	Documento de Diseño de la Estructura del PLC	03/10/2018	23/10/2018	15d
1.3.2.1.2	Documento de Diseño de la Estructura de HMI	24/10/2018	09/11/2018	13d
<b>1.3.2.1.3</b>	<b>Simulación</b>	<b>12/11/2018</b>	<b>22/11/2018</b>	<b>9d?</b>
1.3.2.1.3.1	Documento de las Especificaciones de la Simulación	12/11/2018	16/11/2018	5d
1.3.2.1.3.2	Documento de Validación de la Simulación	19/11/2018	22/11/2018	4d?
<b>1.3.2.2</b>	<b>Elaboración de Casos de Pruebas de Simulación</b>	<b>23/11/2018</b>	<b>30/11/2018</b>	<b>6d</b>
1.3.2.2.1	Documento de Pruebas de la Simulación	23/11/2018	30/11/2018	6d
<b>1.3.3</b>	<b>Fase de Construcción</b>	<b>29/11/2018</b>	<b>11/12/2018</b>	<b>9d</b>
1.3.3.1	Documento de Codificación	29/11/2018	04/12/2018	4d
1.3.3.2	Documento de Pruebas de todo el Conjunto	05/12/2018	11/12/2018	5d
<b>1.4</b>	<b>Seguimiento y Control</b>	<b>12/12/2018</b>	<b>24/12/2018</b>	<b>9d</b>
1.4.1	Documento de Plan de Gestión del Proyecto Actualizado	12/12/2018	19/12/2018	5d
1.4.2	Documento de Gestión de Cambios	20/12/2018	24/12/2018	3d
<b>1.5</b>	<b>Cierre</b>	<b>26/12/2018</b>	<b>31/12/2018</b>	<b>4d</b>
1.5.1	Acta de Aceptación	26/12/2018	27/12/2018	2d
1.5.2	Cierre del Proyecto	28/12/2018	31/12/2018	2d

Fuente: Elaboración propia.

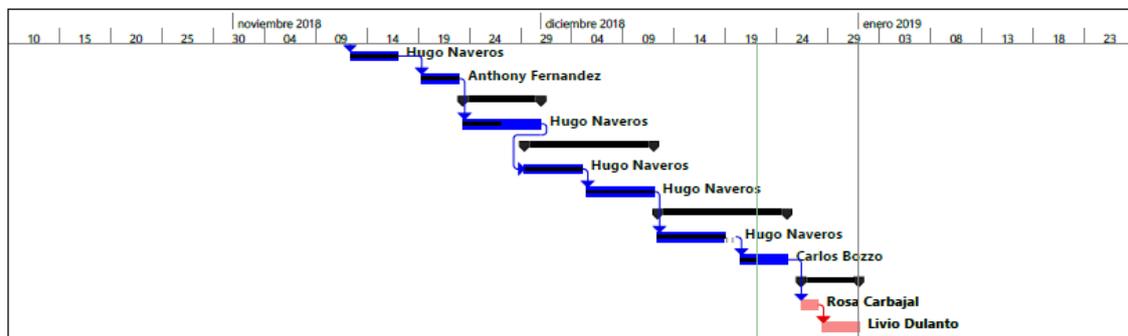
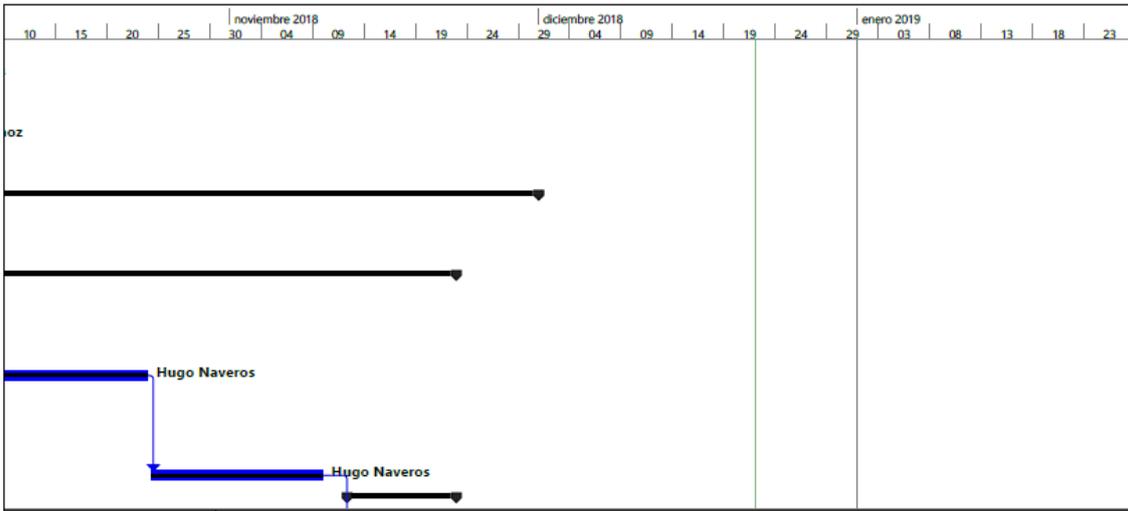
### 4.3.1 Diagrama de Gantt

Es otra de las herramientas gráficas, que expone el tiempo de dedicación pre establecido para el trabajo determinado del proyecto en estudio.



Id	Nombre de tarea	Trabajo	Previsto	Variación	Real	Restante	septiembre 2018					octubre 2018							
							21	26	31	05	10	15	20	25	30	05	10		
17	Documen	40 horas	40 horas	0 horas	40 horas	0 horas													
18	Documen	32 horas	40 horas	-8 horas	32 horas	0 horas													
19	Elaboración de	48 horas	24 horas	24 horas	16 horas	32 horas													
20	Documento	48 horas	24 horas	24 horas	16 horas	32 horas													
21	Fase de Construc	72 horas	72 horas	0 horas	72 horas	0 horas													
22	Documento de	32 horas	32 horas	0 horas	32 horas	0 horas													
23	Documento de	40 horas	40 horas	0 horas	40 horas	0 horas													
24	Seguimiento y Cont	64 horas	96 horas	-32 horas	56 horas	8 horas													
25	Documento de P	40 horas	64 horas	-24 horas	40 horas	0 horas													
26	Documento de G	24 horas	32 horas	-8 horas	16 horas	8 horas													
27	Cierre	32 horas	56 horas	-24 horas	0 horas	32 horas													
28	Acta de Aceptaci	16 horas	32 horas	-16 horas	0 horas	16 horas													
29	Cierre del Proyec	16 horas	24 horas	-8 horas	0 horas	16 horas													

noviembre 2018					diciembre 2018					enero 2019											
10	15	20	25	30	04	09	14	19	24	29	04	09	14	19	24	29	03	08	13	18	23



<b>Proyecto: AUTOCLAVE PROYEC</b> Fecha: sáb 22/12/18	Tarea		Progreso resumido		Resumen manual	
	División		Tareas externas		solo el comienzo	[
	Hito		Hito externo		solo fin	]
	Resumen		Tarea inactiva		Fecha límite	o
	Resumen del proyecto		Hito inactivo		Tarea crítica	
	Agrupar por síntesis		Resumen inactivo		Tareas críticas	
	Tarea resumida		Tarea manual		División crítica	
	Tarea crítica resumida		solo duración		Progreso	
	Hito resumido		Informe de resumen manual			

## **CONCLUSIONES**

En el informe por suficiencia profesional se concluye lo siguiente:

- Al analizar los componentes de la lógica cableada se encontró 10 entradas digitales (DI) con lógica cableada de relés los cuales hacían propenso a fallas, disminuyendo estos a 3 entradas digitales (DI).
- El diseño del algoritmo de control mediante el programa TIA Portal permite disminuir las fallas que pudieran ocasionar los controles con lógica de relés.
- La simulación del diseño de control en el entorno PLCSIM, permite ajustar los parámetros esterilización adecuados, para el funcionamiento correcto de los programas preestablecidos, para proceso de esterilización.
- Seleccionar los materiales y dispositivos adecuados, accionará y controlará el sistema de esterilización asegurando el funcionamiento correcto.

## COSTO BENEFICIO

El costo beneficio en esta investigación da a conocer cuánto podría producir el equipo en estudio y como también, cuanto dejaría de producir cuando el equipo está con fallas y requiere reparar o en el peor de los casos deje su funcionamiento.

El costo de producción por día está cuantificado en base a: La cantidad de cargas promedio al día de la unidad en estudio (8 cargas), la capacidad útil de la unidad (350 litros) que equivale al 70% de la capacidad total y el costo por litro de material a esterilizar en nuevos soles, es decir:

$$\text{Producción por día} = \left( \frac{\text{Cargas}}{\text{Día}} \right) * \left( \frac{\text{Costo}}{\text{Litro}} \right) * (\text{Capacidad Útil})$$

La producción anual es el producto del costo de producción por día y la cantidad días trabajados durante el año, es decir:

$$\text{Producción Anual} = (\text{Producción por día}) * (\text{Días laborables al año})$$

PRODUCCIÓN (DE MAT. SIN/EMPACAR) POR DÍA			
CARGAS/DÍA	COSTO/LITRO	CAPACIDAD ÚTIL(L)	COSTO PRODUCCIÓN
8	S/. 0.70	350	S/. 1,960.00
DÍAS LABORABLES AL AÑO			359.00
PRODUCCIÓN ANUAL			S/. 703,640.00

Figura 94: Reporte de producción por día y anual.

Fuente: Elaboración propia.

El valor neto de la producción es la diferencia de, producción por día, menos los gastos de la producción (Agua, Energía eléctrica, Gas y Personal), equivalente al 40% de la producción por día, es decir:

$$\text{Valor neto de producción} = (\text{Producción por día}) - (\text{Gastos por producción (40\%)})$$

VALOR NETO DE PRODUCCIÓN			
CARGAS/DÍA	COSTO/LITRO	CAPACIDAD ÚTIL(L)	COSTO PRODUCCIÓN
8	S/. 0.70	350	S/. 1,960.00
GASTOS POR PRODUCCIÓN (40%)			784.00
VALOR NETO DE PRODUCCIÓN			S/. 1,176.00

Figura 95: Reporte de valor neto de producción por día.

Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, se cuantifica la inversión en mejorar el sistema de esterilización por vapor (Autoclave) y cabe preguntarse ¿Cuánto es posible invertir en mejorar, con el diseño de control?, ¿En cuánto tiempo se podrá recuperar la inversión?, ¿En cuánto aumenta la mejora de vida útil de la unidad en estudio?, etc. a continuación las siguientes tablas nos muestra las valoraciones respecto a las preguntas:

$$\text{Días de recuperación} = \frac{\text{Costo de automatización}}{\text{Valor neto de producción}}$$

RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (DÍAS)	
COSTO AUTOMATIZACIÓN	S/. 16,000.00
VALOR NETO DE PRODUCCIÓN	S/. 1,176.00
DÍAS DE RECUPERACIÓN	13.60544218

Figura 96: Reporte de recuperación de inversión en días.

Fuente: Elaboración propia.

Con la cantidad de producción por día ya cuantificado evidentemente la empresa por un día que deje de funcionar es sistema de esterilización por vapor, genera una pérdida económica considerable, por tanto, con el nuevo control implementado no solo podrá recuperar su inversión en pocos días sino además sus procesos de esterilización serán seguras, eficientes, registradas, monitoreadas sus parámetros de esterilización permanentemente desde una pantalla HMI, comparadas estos sistemas con los sistemas

de esterilización tecnológicamente actuales, escalables e integrables con los otros sistemas inteligentes.

Se ha considerado una vida útil al sistema de esterilización por vapor, mayor a cinco años, siempre en cuando cumpla con los mantenimientos preventivos adecuados.

## GLOSARIO

<b>HMI:</b>	El Interfaz Hombre-Máquina
<b>PLC:</b>	Controlador Lógico Programable
<b>Bowie &amp; Dick:</b>	Paquete que se utiliza para probar los esterilizadores a vapor asistidos por vacío.
<b>CPU:</b>	Unidad Central de Proceso
<b>TIA:</b>	Totally Integrated Automation
<b>SCADA:</b>	Supervisory Control and Data Adquisition
<b>IP:</b>	Internet protocolo

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 2023 by The Book Love. (2018). *Controles Eléctricos*. Obtenido de <http://sainthyoga.wixsite.com/controlselectricos/en-blanco-cn5k>
- 4r Soluciones. (2013). *Productor Digital*. Obtenido de <http://www.4rsoluciones.com/blog/escalabilidad-acompanando-el-crecimiento-de-un-sitio-web-2/>
- Aliaga, C. et al. (2018). *Sistema de control moderno*. Facultad de Ingeniería de Sistemas, UNCP. Disponible en: [https://www.academia.edu/9238721/SISTEMA\\_DE\\_CONTROL\\_MODERNO](https://www.academia.edu/9238721/SISTEMA_DE_CONTROL_MODERNO).
- Alimentos de Lolo. (2015). *Alimento*.  
doi:<https://alimentaciondelolo.wordpress.com/tag/alimentos/>
- Andrango y Reyes, D. (2017). Implementación de un sistema de esterilización de envases para productos alimenticios en el centro experimental Salache de la UTC. (*Proyecto de Investigación*). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.
- Autoclave por vapor a saturación. (2018). *Autoclave por vapor a saturación*. Obtenido de <http://www.medicalexpo.es/prod/matachana/product-67620-430865.html>
- AutomationDirect.com. (2018). *Library at AutomationDirect*. Obtenido de <https://library.automationdirect.com/motion-control-explained/>
- Balcells, J., & Romeral, J. (1997). *Autómatas Programables*. Barcelona: Marcombo.
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica*. México: Alfaomega. doi:<http://www.alfaomega.com.mx>
- Cast. (2017). *Cast*. Obtenido de <http://www.castconalepbc.edu.mx/index.php/servicios-tec/pruebas-destructivas/22-mecatronica/24-plc-basico>
- Comité Español de Automática (CEA). (2009). *Libro Blanco del Control Automático*. España: Comité Español de Automática (CEA).
- concepto.de. (2018). *concepto.de*. Obtenido de <https://concepto.de/estado-gaseoso/>

- Conde, M. (2013). *Trenes*. Obtenido de <http://locomotorasytrenes.blogspot.com/2013/09/maquina-vapor-watt.html>
- Conexiónesan. (2018). Obtenido de Universidad ESAN: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/09/que-es-la-guia-del-pmbok/>
- Cuno Coaquira, H. (2015). Automatización y monitoreo de una planta para pasteurización de leche. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. doi:<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/270>
- De los Ríos, J. (2018). *IEBS*. Obtenido de <https://www.iebschool.com/blog/industria-umbral-cuarta-revolucion-industrial-business-tech-logistica/>
- Enertria, S.L. (2016). *PLCdesign*. Obtenido de <http://plcdesign.xyz/que-es-un-plc-de-seguridad/>
- Espa, A. (2016). *Bombas Centrífugas*. Obtenido de <https://www.espa.com.ar/>
- Expert Software Applications srl. (2018). *Mindomo*. Obtenido de <https://www.mindomo.com/fi/mindmap/sistemas-de-control-intg-artificial-1fab65c7055f4711b12639ef040f8e2a>
- EXSOL S.A. (2017). *EXSOL*. Obtenido de <http://www.exsol.com.ar/plc-directlogic-koyo-dl06/>
- Gamboa, C. (2011). *LinkedIn Corporation*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/carlosalbertogamboa/tipos-de-plcs-8089865>
- Gómez, S. (2010). VAPOR LIMPIO PARA ESTERILIZACIÓN. *Revista del Club Español de Esterilización*, 6 -10. doi:[https://www.cedest.org/publicaciones/autoclave\\_22\\_1.pdf](https://www.cedest.org/publicaciones/autoclave_22_1.pdf)
- Guadamur, J. (2017). Optimización del proceso de tratamiento biológico de una planta de aguas residuales usando PLC y HMI en el distrito de San Martín de Porres. (*Trabajo de Suficiencia Profesional*). Universidad Tecnológica del Perú, Lima.

- Guano M. y Rosero G., R. I. (2015). Incremento del OEE en una inyectora de plástico basandose en la repotenciación del sistema de control. (*Tesis de grado*). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.  
doi:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3802>
- Huys, J. (1999). *Esterilización de Productos Sanitarios por Vapor*. Wageningen, Países Bajos: HEART Consultancy.
- hyperphysics.phy-astr.gsu.edu. (2018). *hyperphysics.phy-astr.gsu.edu*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pasc.html>
- Info PLC. (2014). *AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, ROBÓTICA E INDUSTRIA 4.0*. Obtenido de <http://www.infoplac.net/blogs-automatizacion/item/101501-10-aspectos-para-elegir-automata-plc>
- Ing. Punzenberger COPA-DATA GmbH. (2018). *COPADATA*. Obtenido de <https://www.copadata.com/es/soluciones-hmi-scada/interfaz-hombre-maquina-hmi/>
- Jaya y Sanchez, R. (2017). Diseño del sistema de supervisión y control para la automatización de un horno autoclave con capacidad de 45 toneladas/hora, utilizado en el proceso de esterilización de fruto en una planta extractora de aceite de palma. (*Tesis de grado*). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia. doi:[repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/1959](https://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/1959)
- Martín, C., & García, M. (2009). *Automatismos Industriales*. Madrid-España: Editorial Editex, S. A. doi:[www.cedro.org](http://www.cedro.org)
- Martinez. (2018). *Sistema de Seguridad Contra Instructivo Ausente*. Obtenido de <http://instructivosausentes.blogspot.com/>
- Mateos, F. (2018). *Sistemas Automatizados*. Obtenido de <http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/Sistemas%20Automatizados.pdf>

- Medical Expo. (2018). *Medical Expo*. Obtenido de <http://www.medicalexpo.es/prod/matachana/product-67620-430865.html>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid (España): PEARSON EDUCACIÓN, S.A. doi:www.pearsoneducacion.com
- PLCdesign. (2017). *PLCdesign xyz*. Obtenido de <http://plcdesign.xyz/presion-absoluta/>
- Presión atmosférica. (2018). *Presión atmosférica*. Obtenido de <http://presionatmosferica.com/en-quimica>
- Prof. Kaiser, U. (2010). VISIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE ESTERILIZACIÓN. *El Autoclave*.
- Puente, C. (2016). Uso y Programación Inteligente de Drones. *Agroindustrias, Automatización y Agronegocios*, 114.
- PunBB. (2012). *electrocanaria.com*. Obtenido de <http://www.electrocanaria.com/topic/2566/gastronomia-y-la-cocina-como-se-hace-un-huevo-escalfado/>
- Querelle y Cia Ltda. . (2015). *Profesor en línea*. Obtenido de [http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Calor\\_y\\_Temperatura.htm](http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Calor_y_Temperatura.htm)
- Ramos, J., & Vargas, J. (2016). Programación de un autómatas para una Prensa Hidráulica para block de sal. *La Mecatrónica en México*, 34. doi:<http://www.mecamex.net/revistas/LMEM/revistas/LMEM-V05-N02.pdf#page=33>
- Romera, J., Lorite, J., & Montoro, S. (1994). *Automatización*. Editorial Paraninfo.
- Sánchez, C. (2017). *Automatización en la industria automotriz: conceptos y procesos*. DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL, Edición 3, Volumen 2. ISSN 2322-8725. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/299546590\\_AUTOMATIZACION\\_EN\\_LA\\_INDUSTRIA\\_AUTOMOTRIZ\\_CONCEPTOS\\_Y\\_PROCESOS](https://www.researchgate.net/publication/299546590_AUTOMATIZACION_EN_LA_INDUSTRIA_AUTOMOTRIZ_CONCEPTOS_Y_PROCESOS).

- Sanchis, R., Romero, J., & Ariño, C. (2010). *Automatización Industrial*. España: Universitat Jaume I. doi:<http://www.tenda.uji.es>
- Sarco Montiel, L. (2014). Optimización del control automático e implementación de un SCADA para el proceso de teñido en una autoclave-fábrica inca tops. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa. doi:<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2867>
- Tejedor, A. (2013). *Soldadura de aceros austeníticos*. Panamá. doi:[https://es.slideshare.net/atejedor/aceros-austenticos?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/atejedor/aceros-austenticos?from_action=save)
- Universidad Popular del Cesar. (2011). *Istrumentación Quirúrgica*. doi:<https://instrumentacionupc.wordpress.com/2011/10/22/metodos-de-esterilizacion/#respond>
- Viola, J., Restrepo, R., & Gómez, P. (2018). Control de temperatura de una autoclave de vapor saturado para la esterilización de instrumental quirúrgico. *Revista UIS Ingenierías*, 153-158. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018014>
- Wonderware. (2018). *Interfaz Hombre-Máquina (HMI)*. Obtenido de <http://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>

**ANEXOS**

## Anexo I – Tabla del sistema de control de temperatura

*Tabla 20: Parámetros calculados para los controladores PI Y PID.*

*Parámetros calculados para los controladores PI Y PID.*

<b>Controlador</b>	<b><math>K_P</math></b>	<b><math>K_i</math></b>	<b><math>K_d</math></b>
PI	0.14	0.02	0
PID	1.06	0.06	0.57

Datos obtenidos de Matlab. Fuente: Elaboración propia.

## Anexo II - Diagrama de flujo del proceso (PFD)

### Diagrama P&ID ISA S5.1 del sistema de esterilización por vapor

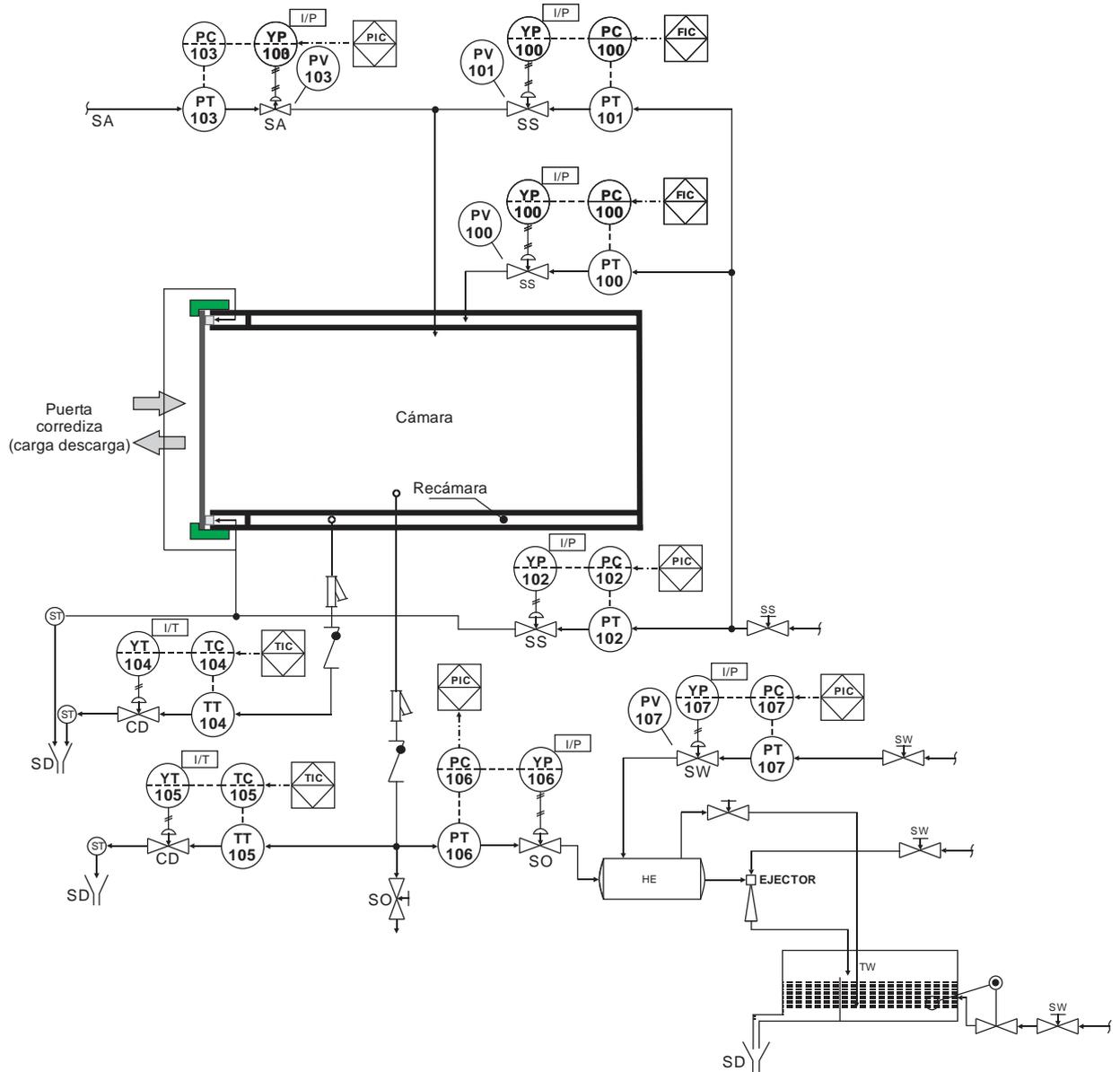
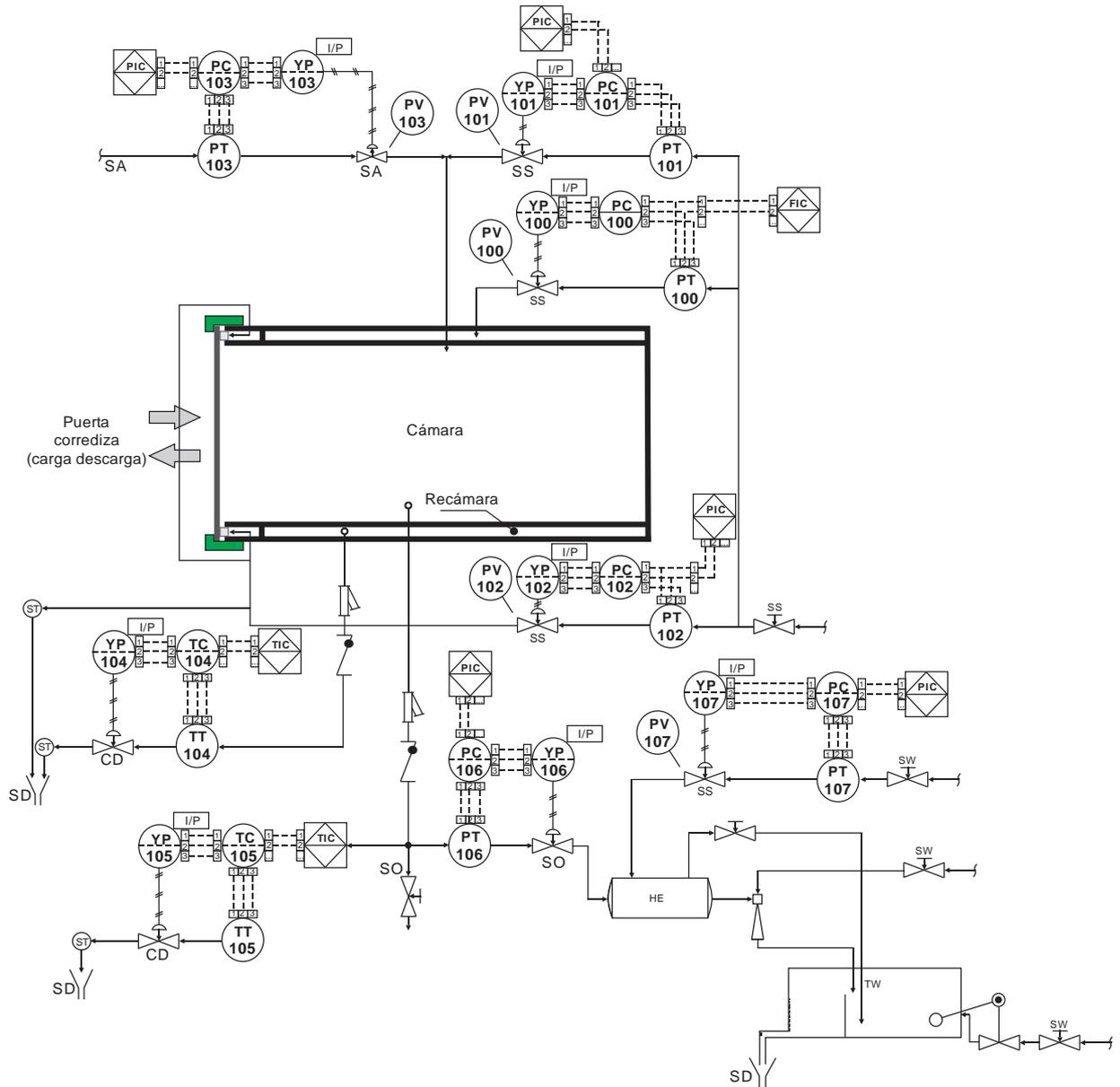


Figura 97: Diagrama P&ID ISA S5.1

Fuente: Elaboración propia.

**Diagrama P&ID ISA S5.4 del sistema de esterilización por vapor**



*Figura 98: Diagrama P&ID ISA S5.4*

Fuente: Elaboración propia

### Anexo III - Secuencia de funcionamiento por etapas

1. Al encender el equipo con un INTERRUPTOR físico, carga el sistema operativo del PLC o autómeta, una vez hecha la carga, por defecto será activado EV1-NV5 (Electroválvula neumática-Válvula Neumática de ingreso de vapor a la Recamará) y PS5 PRESOSTATO para el control de EV1-NV5 respectivamente, la presión de timbre en la recámara a 312kPa o 3Bar mientras el equipo este encendido.  
EV5 (Electroválvula de agua del colector de condensados), estará en forma permanente encendido con restricción para economizar el agua con FV2 (Restrictor de entrada de agua al depósito).  
EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula Neumática de igualación), encendido o activado mientras el equipo está encendido o cuando está en modo de espera (estambay).
2. Si se quiere elegir en la receta cualquiera de los programas, según material a esterilizar, como se muestra en un programa configurado en un HMI.



Figura 99: Receta de programas elegibles 1.

Fuente: Elaboración propia.

3. Si se selecciona cualquiera de los programas se abrirá una pantalla como la siguiente, en este caso se ha seleccionado el programa “Estándar 134°C”.
  - b) Tiene los siguientes parámetros: presión 312kPa, temperatura 134°C y 7 minutos de esterilización.

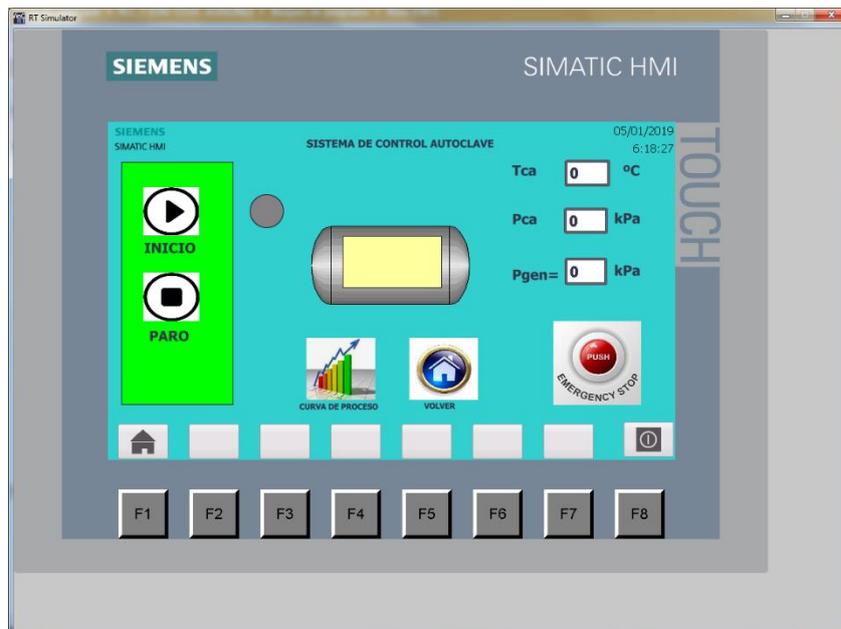


Figura 100: Características y parámetros de visualización de un programa estándar.

Fuente: Elaboración propia.

En este momento el equipo ya debe estar cargada la cámara con material a esterilizar y cerrada la puerta con EV8-CN4 (Electroválvula neumática-Pistón de desplazamiento de puerta P.Z.N.E. “Puerta Zona No Estéril”), confirmada el cierra de la puerta con MP1 (Final de carrera P.Z.N.E.), si cumple esas condiciones pasamos al paso 4.

4. Para INICIAR el programa elegido presionar o pulsar la tecla , en seguida inicia el proceso de esterilización automática, y seguirá el proceso según el algoritmo preestablecido, el cual se muestra en la siguiente ilustración.

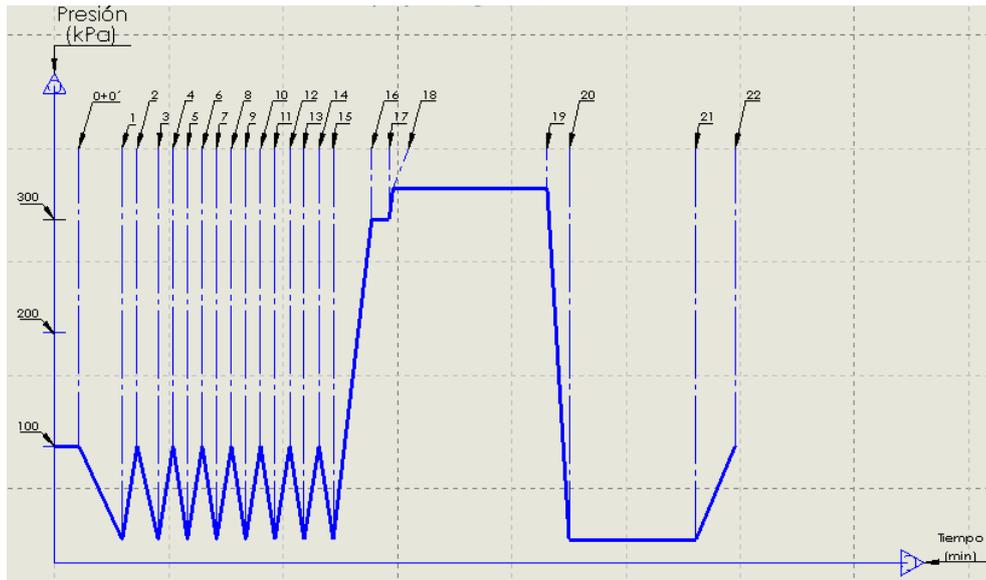


Figura 101: Diagrama de proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

- a) Al pulsar la tecla de INICIO se cierra (apaga) la EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de igualación).
- b) Enciende EV12 (Electroválvula de agua del colector de condensados), estará encendido mientras P2 (Bomba de vacío) está encendido, esto sirve para mantener el agua lo suficientemente fresco para el vacío eficiente, también lleva un restrictor para economizar el agua con FV2 (Restrictor de entrada de agua al depósito).
- c) Enciende la EV7-NV6 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de burletes o empaquetadura)
- d) Enciende la EV2-NV9 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de la Bomba de vacío).
- e) Enciende P2 (Bomba de vacío), hasta que el vacío llegue a 12kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
- f) La pantalla muestra que está en la fase de VACIO.

5. Los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 70kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
  - a) La pantalla muestra que está en la fase INYECCION DE VAPOR.
6. Los pasos 4. y 5. hacen una rutina de 8 veces, en la figura 39 se observa los pulsos de 1 hasta 15.
7. La gráfica de la figura 39, de 15 hasta 22 es el CALENTAMIENTO para este caso los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática- Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 290kPa y mantiene por un tiempo de 30 segundos, controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
  - a) La pantalla muestra que está en la fase CALENTAMIENTO.
8. La gráfica de la figura 39, de 23 hasta 24 es el último incremento para este caso los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática- Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 290kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
  - a) La pantalla muestra que está en la fase CALENTAMIENTO.
9. La gráfica de la figura 39, de 24 hasta 25 es la estilización para este caso los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática- Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor

hasta una presión de 312kPa mantiene por un tiempo de 7 minutos, controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

a) La pantalla muestra que está en la fase ESTERILIZACION.

10. La gráfica de la figura 39, de 25 hasta 26 es la desvaporización para este caso los pasos a y c del anterior párrafo 4. mantiene la misma posición, enciende la EV11 (Electroválvula de desvalorización), expulsa vapor de la cámara hasta una presión de 115kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

a) La pantalla muestra que está en la fase DESVAPORIZACION.

11. La gráfica de la figura 39, de 26 hasta 30 es el secado para este caso los pasos a hasta e del anterior párrafo 4. mantiene la misma posición, hasta llegar a una presión por debajo de 10kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

a) La pantalla muestra que está en la fase SECADO.

12. La gráfica de la figura 39, de 30 hasta 31 es la igualación para este caso el paso a del anterior párrafo 4. b, c, d y e, se apagan enciende la EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de igualación), hasta llegar a una presión de 100kPa esta presión es igual a la presión atmosférica y es controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

a) La pantalla muestra que está en la fase IGUALACION.

13. La pantalla muestra FIN DEL CICLO y retornamos al anterior párrafo 2. para elegir nuevamente otra receta o puede ser el mismo.

**Anexo IV – Diagrama EDT de costos y horas de trabajo.**

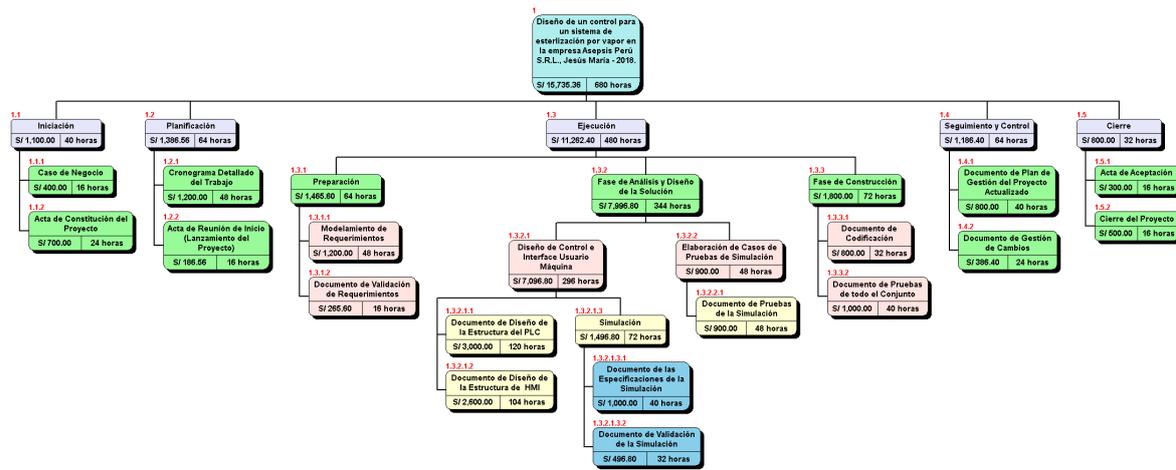


Figura 102: Diagrama de EDT de horas y costos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Hoja de costos detallado.

WBS Dictionary	
ID	WBS
1	1
<b>Task Name</b>	
Diseño de un control para un sistema de esterilización por vapor en empresa Asepsisi Perú S.R.L., Jesús María - 2018.	
<b>Duration</b>	<b>Work</b> <b>Cost</b>
86d?	680h S/ 15,735.36
<b>Start</b>	<b>Finish</b>
03/09/2018	31/12/2018
<b>Resource Names</b>	
<b>Notes</b>	
ID	WBS
2	1.1
<b>Task Name</b>	
Iniciación	
<b>Duration</b>	<b>Work</b> <b>Cost</b>

6d	40h	S/ 1,100.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
03/09/2018	10/09/2018	
<b>Resource Names</b>		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
3	1.1.1	
<b>Task Name</b>		
Caso de Negocio		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
2d	16h	S/ 400.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
03/09/2018	04/09/2018	
<b>Resource Names</b>		
Livio Dulanto		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
4	1.1.2	
<b>Task Name</b>		
Acta de Constitución del Proyecto		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
3d	24h	S/ 700.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
05/09/2018	10/09/2018	
<b>Resource Names</b>		
Livio Dulanto		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
5	1.2	
<b>Task Name</b>		
Planificación		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
8d	64h	S/ 1,386.56
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	

11/09/2018		20/09/2018	
<b>Resource Names</b>			
<b>Notes</b>			
<b>ID</b>	<b>WBS</b>		
6	1.2.1		
<b>Task Name</b>			
Cronograma Detallado del Trabajo			
<b>Duration</b>		<b>Work</b>	<b>Cost</b>
6d		48h	S/ 1,200.00
<b>Start</b>		<b>Finish</b>	
11/09/2018		18/09/2018	
<b>Resource Names</b>			
Hugo Naveros			
<b>Notes</b>			
<b>ID</b>	<b>WBS</b>		
7	1.2.2		
<b>Task Name</b>			
Acta de Reunión de Inicio (Lanzamiento del Proyecto)			
<b>Duration</b>		<b>Work</b>	<b>Cost</b>
2d		16h	S/ 186.56
<b>Start</b>		<b>Finish</b>	
19/09/2018		20/09/2018	
<b>Resource Names</b>			
Walter Izaguirre			
<b>Notes</b>			
<b>ID</b>	<b>WBS</b>		
8	1.3		
<b>Task Name</b>			
Ejecución			
<b>Duration</b>		<b>Work</b>	<b>Cost</b>
58d?		480h	S/ 11,262.40
<b>Start</b>		<b>Finish</b>	
21/09/2018		11/12/2018	
<b>Resource Names</b>			

Notes		
ID	WBS	
9	1.3.1	
Task Name		
Preparación		
Duration	Work	Cost
8d	64h	S/ 1,465.60
Start	Finish	
21/09/2018	02/10/2018	
Resource Names		
Notes		
ID	WBS	
10	1.3.1.1	
Task Name		
Modelamiento de Requerimientos		
Duration	Work	Cost
6d	48h	S/ 1,200.00
Start	Finish	
21/09/2018	28/09/2018	
Resource Names		
Hugo Naveros		
Notes		
ID	WBS	
11	1.3.1.2	
Task Name		
Documento de Validación de Requerimientos		
Duration	Work	Cost
2d	16h	S/ 265.60
Start	Finish	
01/10/2018	02/10/2018	
Resource Names		
Jose Araoz		

Notes		
ID	WBS	
12	1.3.2	
Task Name		
Fase de Análisis y Diseño de la Solución		
Duration	Work	Cost
43d?	344h	S/ 7,996.80
Start	Finish	
03/10/2018	30/11/2018	
Resource Names		
Notes		
ID	WBS	
13	1.3.2.1	
Task Name		
Diseño de Control e Interface Usuario Máquina		
Duration	Work	Cost
37d?	296h	S/ 7,096.80
Start	Finish	
03/10/2018	22/11/2018	
Resource Names		
Notes		
ID	WBS	
14	1.3.2.1.1	
Task Name		
Documento de Diseño de la Estructura del PLC		
Duration	Work	Cost
15d	120h	S/ 3,000.00
Start	Finish	
03/10/2018	23/10/2018	
Resource Names		
Hugo Naveros		
Notes		
ID	WBS	

15	1.3.2.1.2
<b>Task Name</b>	
Documento de Diseño de la Estructura de HMI	
<b>Duration</b>	<b>Work</b> <b>Cost</b>
13d	104h S/ 2,600.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>
24/10/2018	09/11/2018
<b>Resource Names</b>	
Hugo Naveros	
<b>Notes</b>	
<b>ID</b>	<b>WBS</b>
16	1.3.2.1.3
<b>Task Name</b>	
Simulación	
<b>Duration</b>	<b>Work</b> <b>Cost</b>
9d?	72h S/ 1,496.80
<b>Start</b>	<b>Finish</b>
12/11/2018	22/11/2018
<b>Resource Names</b>	
<b>Notes</b>	
<b>ID</b>	<b>WBS</b>
17	1.3.2.1.3.1
<b>Task Name</b>	
Documento de las Especificaciones de la Simulación	
<b>Duration</b>	<b>Work</b> <b>Cost</b>
5d	40h S/ 1,000.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>
12/11/2018	16/11/2018
<b>Resource Names</b>	
Hugo Naveros	
<b>Notes</b>	
<b>ID</b>	<b>WBS</b>
18	1.3.2.1.3.2
<b>Task Name</b>	

Documento de Validación de la Simulación		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
4d?	32h	S/ 496.80
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
19/11/2018	22/11/2018	
<b>Resource Names</b>		
Anthony Fernandez		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
19	1.3.2.2	
<b>Task Name</b>		
Elaboración de Casos de Pruebas de Simulación		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
6d	48h	S/ 900.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
23/11/2018	30/11/2018	
<b>Resource Names</b>		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
20	1.3.2.2.1	
<b>Task Name</b>		
Documento de Pruebas de la Simulación		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
6d	48h	S/ 900.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
23/11/2018	30/11/2018	
<b>Resource Names</b>		
Hugo Naveros		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
21	1.3.3	
<b>Task Name</b>		
Fase de Construcción		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>

9d	72h	S/ 1,800.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
29/11/2018	11/12/2018	
<b>Resource Names</b>		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
22	1.3.3.1	
<b>Task Name</b>		
Documento de Codificación		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
4d	32h	S/ 800.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
29/11/2018	04/12/2018	
<b>Resource Names</b>		
Hugo Naveros		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
23	1.3.3.2	
<b>Task Name</b>		
Documento de Pruebas de todo el Conjunto		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
5d	40h	S/ 1,000.00
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	
05/12/2018	11/12/2018	
<b>Resource Names</b>		
Hugo Naveros		
<b>Notes</b>		
<b>ID</b>	<b>WBS</b>	
24	1.4	
<b>Task Name</b>		
Seguimiento y Control		
<b>Duration</b>	<b>Work</b>	<b>Cost</b>
9d	64h	S/ 1,186.40
<b>Start</b>	<b>Finish</b>	

12/12/2018		24/12/2018	
<b>Resource Names</b>			
<b>Notes</b>			
<b>ID</b>	<b>WBS</b>		
25	1.4.1		
<b>Task Name</b>			
Documento de Plan de Gestión del Proyecto Actualizado			
<b>Duration</b>		<b>Work</b>	<b>Cost</b>
5d		40h	S/ 800.00
<b>Start</b>		<b>Finish</b>	
12/12/2018		19/12/2018	
<b>Resource Names</b>			
Hugo Naveros			
<b>Notes</b>			
<b>ID</b>	<b>WBS</b>		
26	1.4.2		
<b>Task Name</b>			
Documento de Gestión de Cambios			
<b>Duration</b>		<b>Work</b>	<b>Cost</b>
3d		24h	S/ 386.40
<b>Start</b>		<b>Finish</b>	
20/12/2018		24/12/2018	
<b>Resource Names</b>			
Carlos Bozzo			
<b>Notes</b>			
<b>ID</b>	<b>WBS</b>		
27	1.5		
<b>Task Name</b>			
Cierre			
<b>Duration</b>		<b>Work</b>	<b>Cost</b>
4d		32h	S/ 800.00
<b>Start</b>		<b>Finish</b>	
26/12/2018		31/12/2018	
<b>Resource Names</b>			

Notes		
ID	WBS	
28	1.5.1	
Task Name		
Acta de Aceptación		
Duration	Work	Cost
2d	16h	S/ 300.00
Start	Finish	
26/12/2018	27/12/2018	
Resource Names		
Rosa Carbajal		
Notes		
ID	WBS	
29	1.5.2	
Task Name		
Cierre del Proyecto		
Duration	Work	Cost
2d	16h	S/ 500.00
Start	Finish	
28/12/2018	31/12/2018	
Resource Names		
Livio Dulanto		
Notes		

*Fuente: Elaboración propia.*

## Anexo V – Programación ladder en el entorno TIA portal.

La secuencia de programación por etapas en el entorno de TIA portal, está en los segmentos que muestra la figura, del Segmento 1 es donde inicia la programación o secuencia hasta el Segmento 13 de igualación y el fin del ciclo del proceso de esterilización.

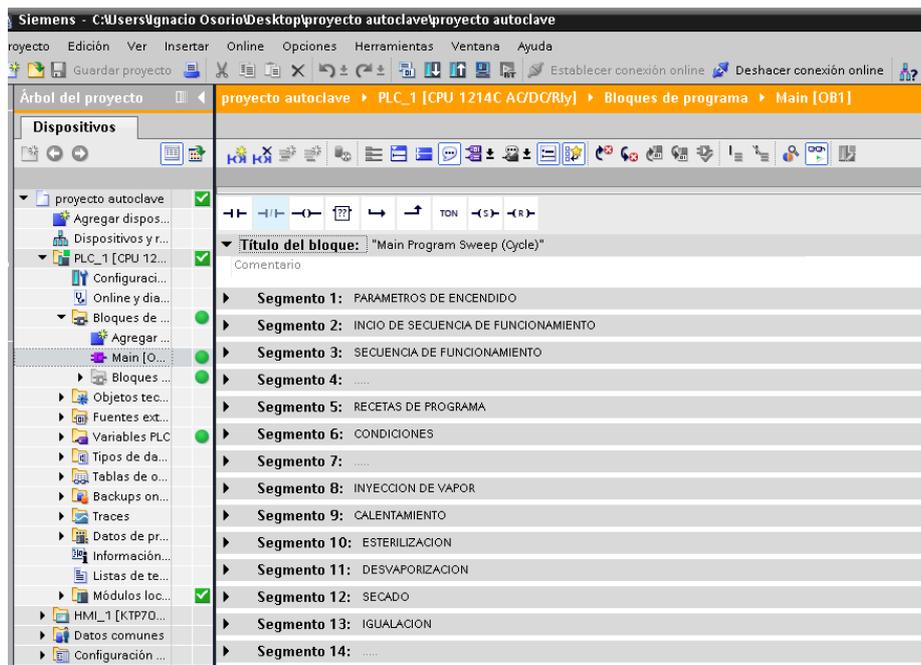


Figura 103: Entorno Tia Portal la secuencia de programación por etapas.

Fuente: Elaboración propia.

5. La figura siguiente representa la etapa inicial o bienvenida una vez encendida el equipo con un interruptor físico que puede ser de tipo pulsador o llave, por defecto será activado EV1-NV5 (Electroválvula neumática-Válvula Neumática de ingreso de vapor a la Recámara) y PS5 PRESOSTATO para el control de EV1-NV5 respectivamente, la presión de timbre en la recámara es de 312kPa o 3Bar mientras el equipo esté encendido. EV5 (Electroválvula de agua del colector de condensados), estará en forma permanente encendido con restricción para economizar el agua con FV2 (Restrictor de entrada de agua al depósito). EV7-NV2

(Electroválvula neumática-Válvula Neumática de igualación), encendido o activado mientras el equipo está encendido o cuando está en modo de espera (estambay).

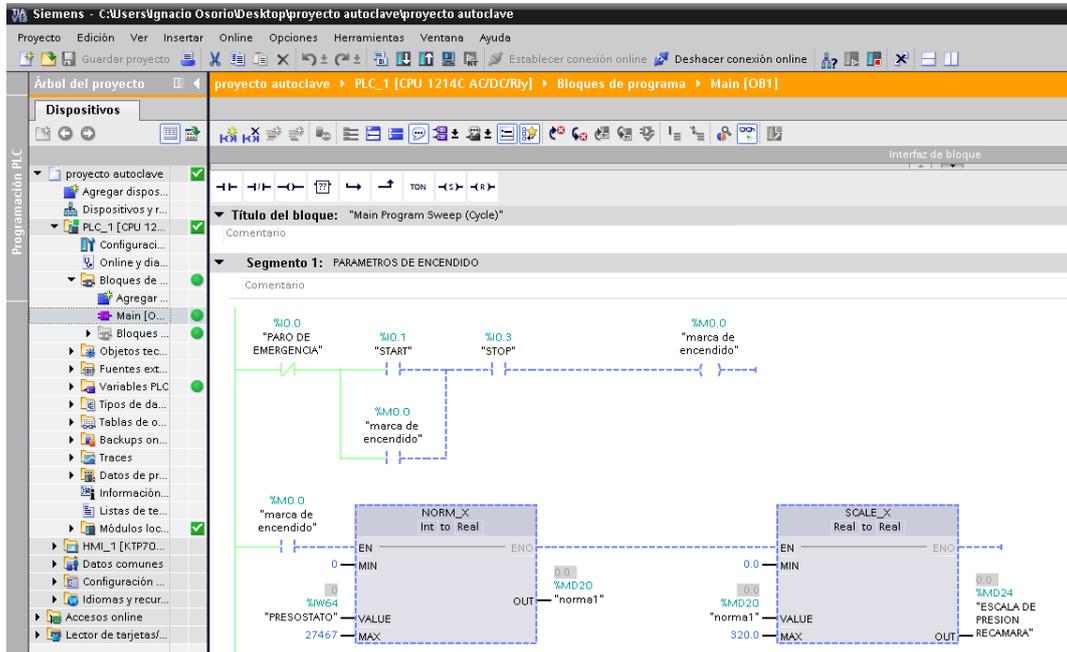


Figura 104: Secuencia una vez encendido o modo estambay.

Fuete: Elaboración propia.

- Si se quiere elegir en la receta cualquiera de los programas, según material a esterilizar se abrirá otra pantalla que en nuestro caso como ejemplo seleccionaremos el “Estándar 134 °C”.



Figura 105: Receta de programas elegibles.

Fuente: Elaboración propia.

La figura siguiente representa el algoritmo de selección de las recetas o programas para el proceso de esterilización.

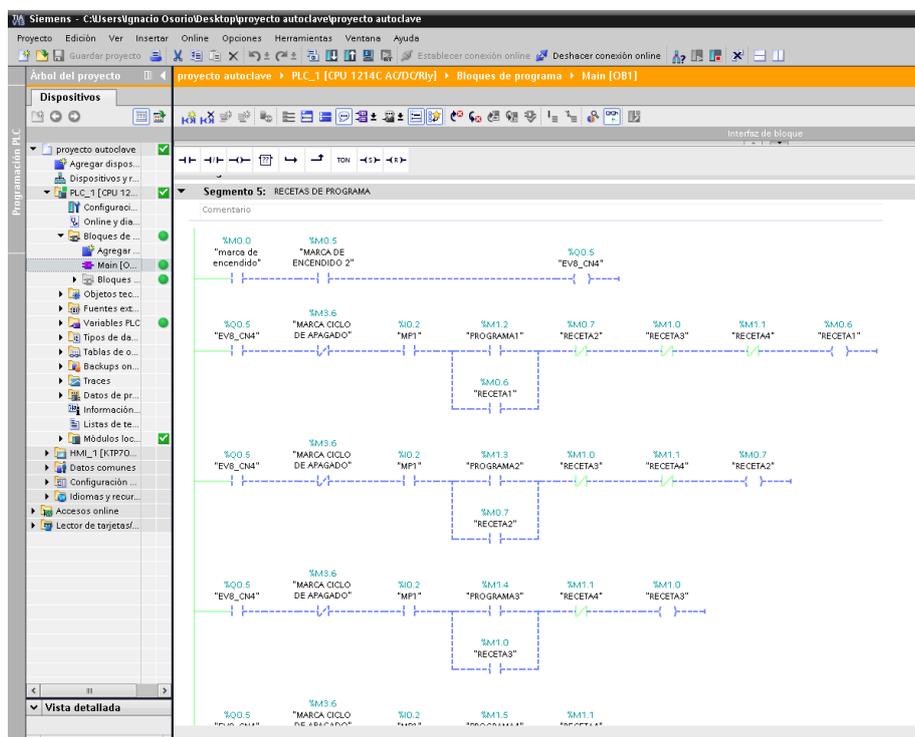


Figura 106: Secuencia de menú de selección de programas.

Fuente: Elaboración propia.

7. Si se selecciona cualquiera de los programas se abrirá una pantalla como la siguiente, en este caso se ha seleccionado el programa “Estándar 134°C”.

c) Tiene los siguientes parámetros: presión 312kPa, temperatura 134°C y 7 minutos de esterilización.

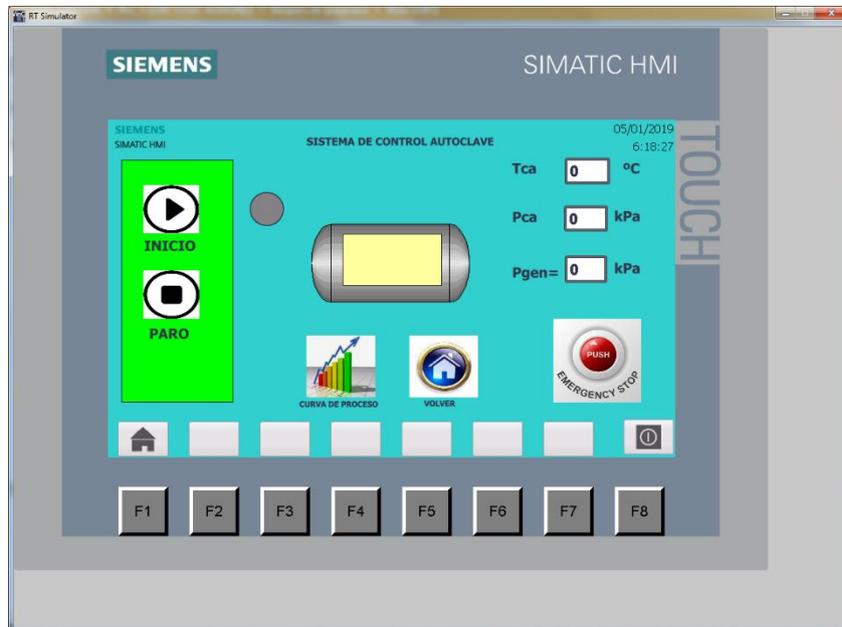


Figura 107: Características y parámetros de visualización de un programa estándar.

Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa el equipo ya debe estar cargada la cámara con material a esterilizar y cerrada la puerta con EV8-CN4 (Electroválvula neumática-Pistón de desplazamiento de puerta P.Z.N.E. “Puerta Zona No Estéril”), confirmada el cierra de la puerta con MP1 (Final de carrera P.Z.N.E.), si cumple esas condiciones pasamos al paso 4.

8. Para INICIAR el programa elegido presionar o pulsar la tecla , en seguida inicia el proceso de esterilización automática, y seguirá el proceso según el algoritmo preestablecido, el cual se muestra en la siguiente ilustración.

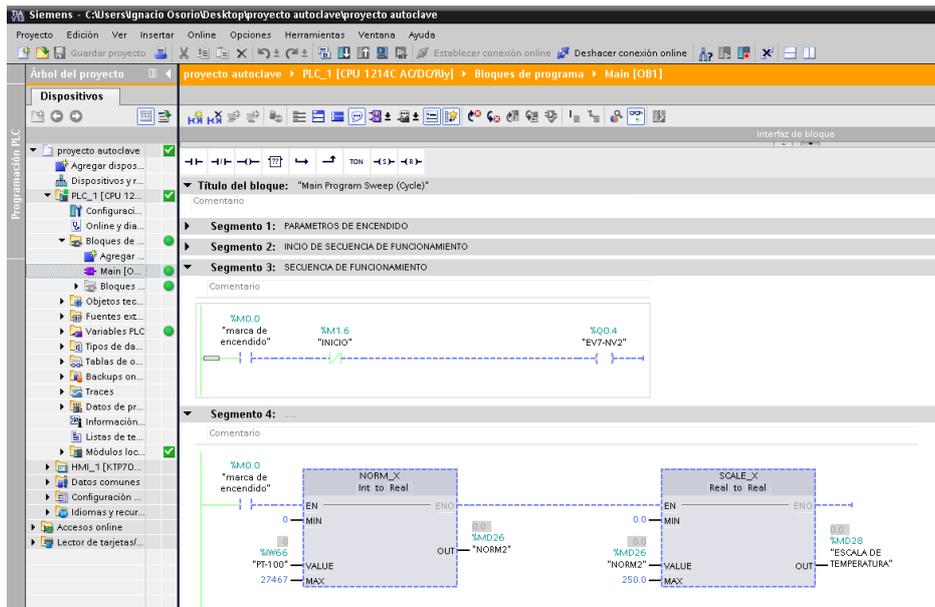


Figura 108: Secuencia de Inicio.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez iniciado el proceso de esterilización para el programa “Estándar 134 °C” elegido, seguirá el siguiente diagrama de presión en un tiempo determinad.

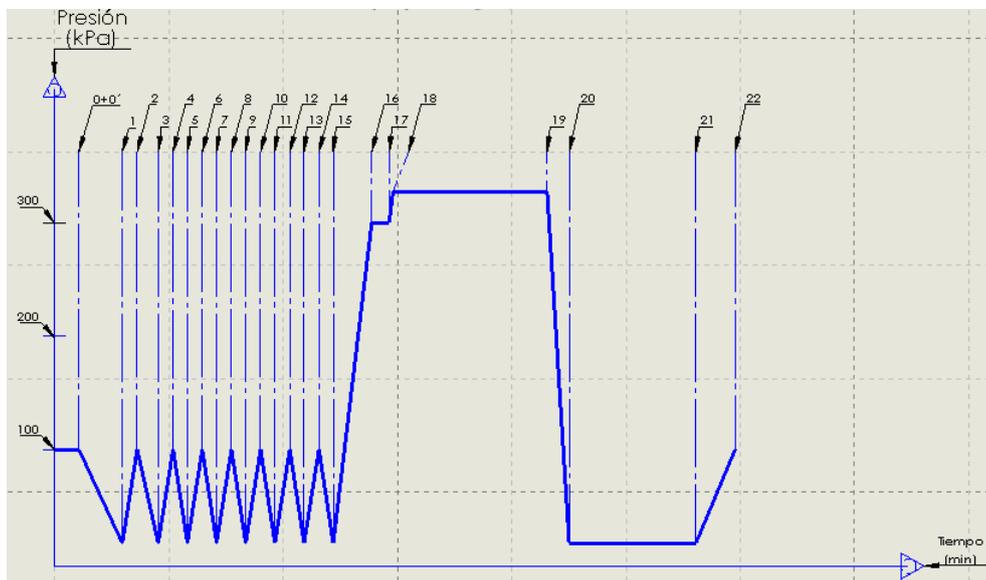


Figura 109: Diagrama de proceso de esterilización “Estándar 134 °C”.

Fuente: Elaboración propia.

- g) Al pulsar la tecla de INICIO se cierra (apaga) la EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de igualación).
- h) Enciende EV12 (Electroválvula de agua del colector de condensados), estará encendido mientras P2 (Bomba de vacío) está encendido, esto sirve para mantener el agua lo suficientemente fresco para el vacío eficiente, también lleva un restrictor para economizar el agua con FV2 (Restrictor de entrada de agua al depósito).
- i) Enciende la EV7-NV6 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de burletes o empaquetadura)
- j) Enciende la EV2-NV9 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de la Bomba de vacío).
- k) Enciende P2 (Bomba de vacío), hasta que el vacío llegue a 12kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).
- l) La pantalla muestra que está en la fase de VACIO.

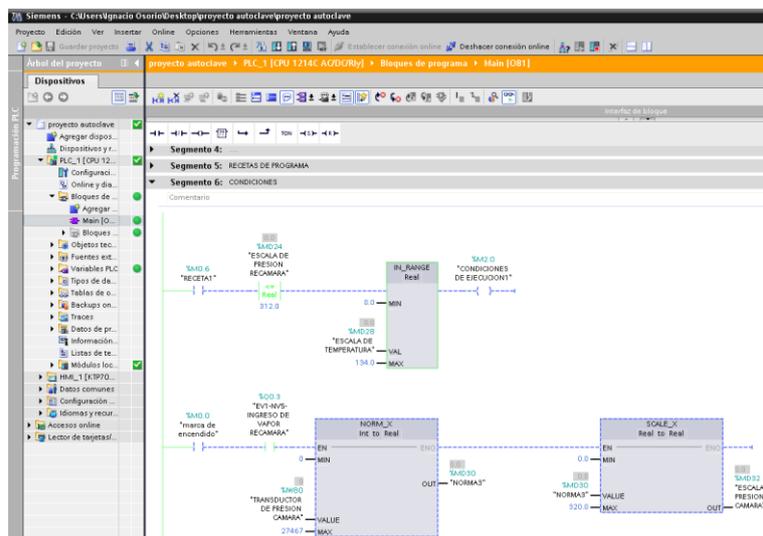


Figura 110: Secuencia Vacío 1.

Fuente: Elaboración propia.

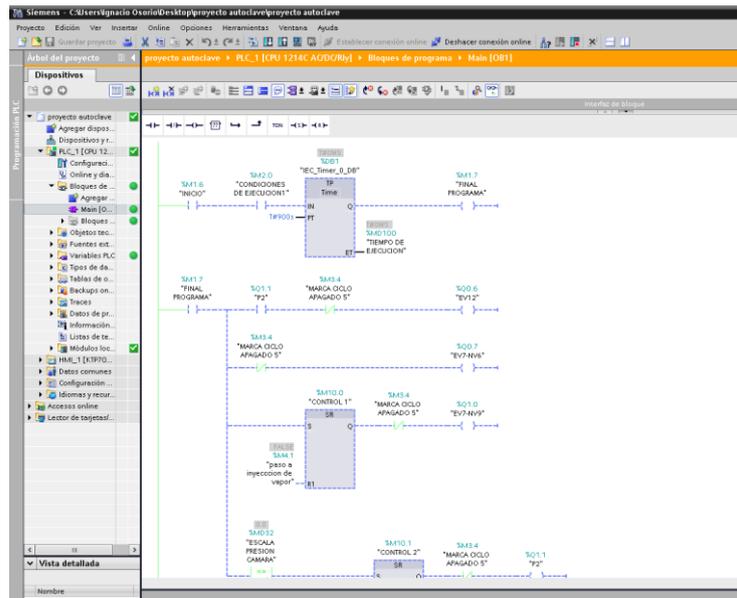


Figura 111: Secuencia Vacío 2.

Fuente: Elaboración propia.

5. Los pasos d y e del anterior párrafo 4. Se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 70kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

b) La pantalla muestra que está en la fase INYECCION DE VAPOR. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI.

13. Los pasos 4. y 5. hacen una rutina de ocho veces, en la figura 74 se observa los pulsos de 0+0' hasta 15.



b) La pantalla muestra que está en la fase CALENTAMIENTO. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.

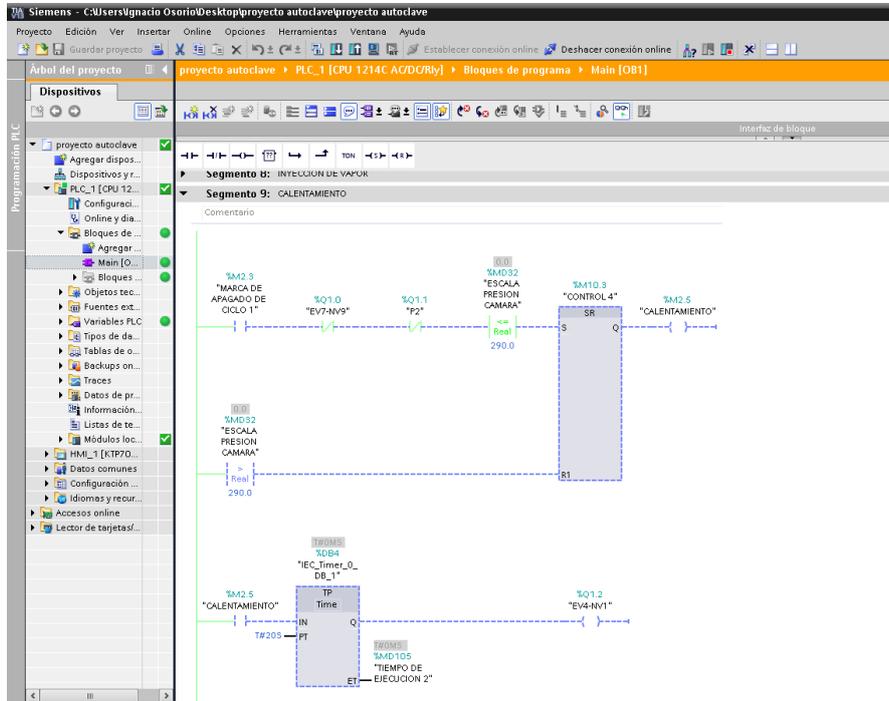


Figura 113: Secuencia Calentamiento.

Fuete: Elaboración propia.

16. La gráfica de la figura 74, de 18 hasta 19 es la ESTERILIZACIÓN para este caso, los pasos d y e del anterior párrafo 4. se apagan y enciende la EV4-NV1 (Electroválvula neumática- Válvula neumática de vapor Recamara-Cámara), inyectando vapor hasta una presión de 312kPa mantiene por un tiempo de 7 minutos, controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

b) La pantalla muestra que está en la fase ESTERILIZACION. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.

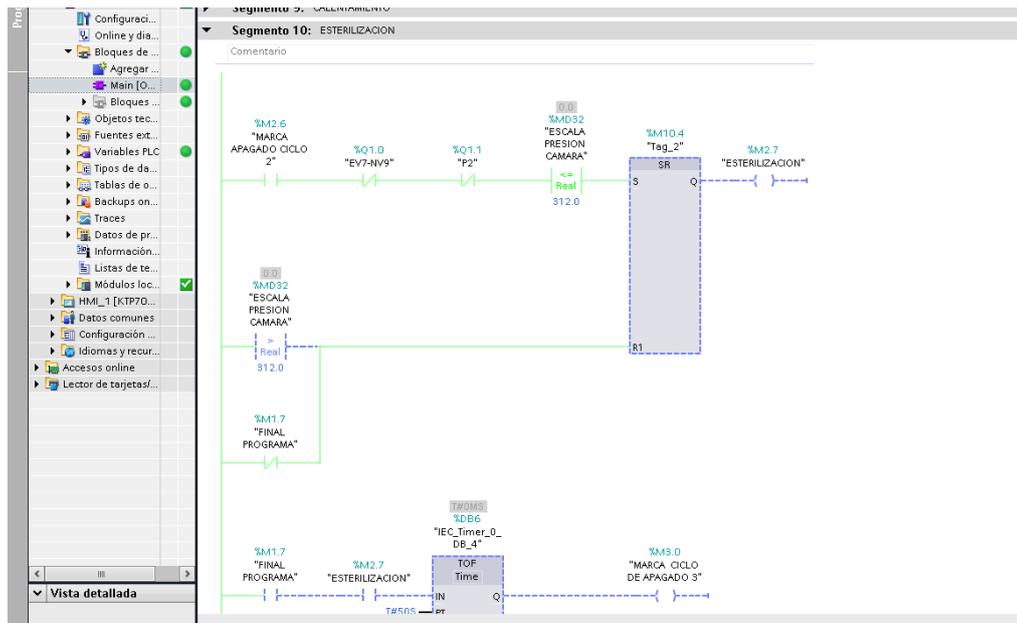


Figura 114: Secuencia Esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

17. La gráfica de la figura 74, de 19 hasta 20 es la desvaporización para este caso los pasos a y c del anterior párrafo 4. mantiene la misma posición, enciende la EV11 (Electroválvula de desvalorización), expulsa vapor de la cámara hasta una presión de 115kPa controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

b) La pantalla muestra que está en la fase DESVAPORIZACION. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.



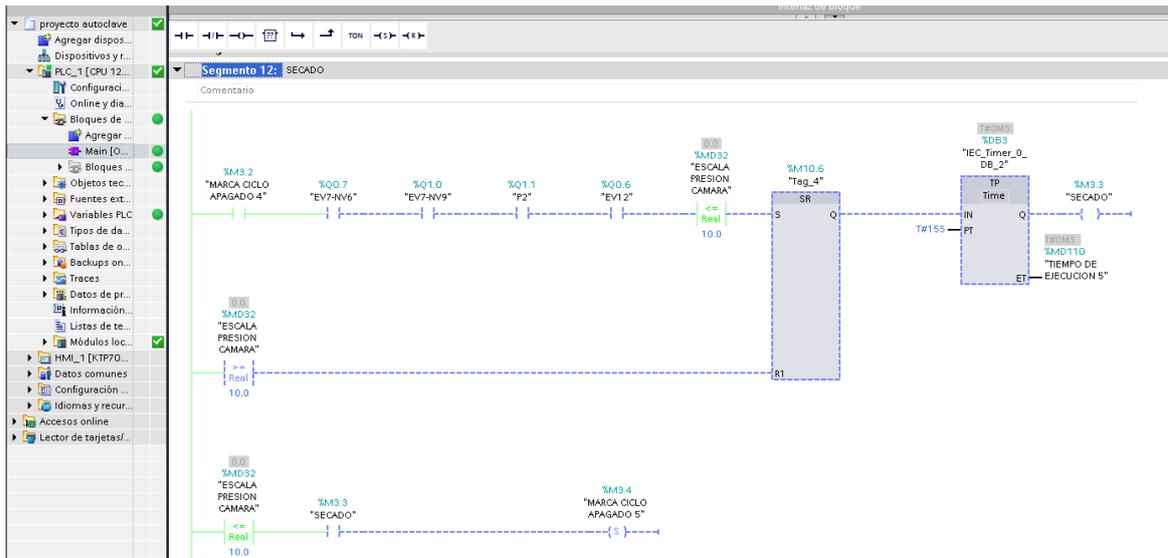


Figura 116: Secuencia Secado.

Fuente: Elaboración propia.

19. La gráfica de la figura 74, de 21 hasta 22 es la igualación para este caso el paso a del anterior párrafo 4. b, c, d y e, se apagan enciende la EV7-NV2 (Electroválvula neumática-Válvula neumática de igualación), hasta llegar a una presión de 100kPa esta presión es igual a la presión atmosférica y es controlado por el transductor de presión PS2 (Transductor de presión 0 a 312kPa).

- c) La pantalla muestra que está en la fase IGUALACION. Por tanto, la programación en el PLC es lo que está sucediendo en la pantalla o HMI como se observa en la figura siguiente.
- d) En seguida la pantalla muestra FINAL DEL CICLO acompañado con una señal audible indicando el fin del proceso de esterilización.

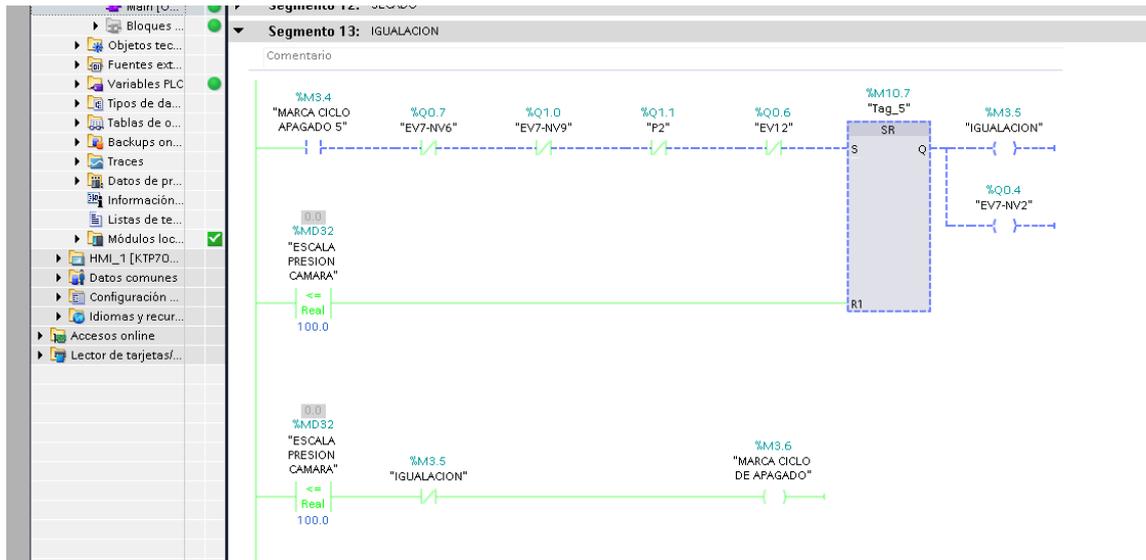


Figura 117: Secuencia Igualación y final del proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Al programarse las secuencias por etapas, también se ha asignado a cada contacto, tanto de entrada y salida, la cantidad de variables que concatena justamente con cada variable en las secuencias preestablecida o secuencia descrita en este informe. A continuación, se muestra la lista de variables declaradas en el entorno TIA portal.

Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables ...	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1	PARO DE EMERGENCIA	Tabla de variables ...	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	START	Tabla de variables ...	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	marca de encendido	Tabla de variables ...	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	STOP	Tabla de variables ...	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	PRESOSTATO	Tabla de variables ...	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	norma1	Tabla de variables ...	Real	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	ESCALA DE PRESION RECAMAR	Tabla de variables ...	Real	%MD24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	MP1	Tabla de variables ...	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	EV5	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	EV1-NV5-INGRESO DE VAPOR F	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	EV7-NV2	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	PT-100	Tabla de variables ...	Int	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	NORM2	Tabla de variables ...	Real	%MD26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	ESCALA DE TEMPERATURA	Tabla de variables ...	Real	%MD28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	PROCESO	Tabla de variables ...	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	MARCA DE ENCENDIDO 2	Tabla de variables ...	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	EV8_CN4	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	RECETA1	Tabla de variables ...	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	RECETA2	Tabla de variables ...	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	RECETA3	Tabla de variables ...	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	RECETA4	Tabla de variables ...	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	PROGRAMA1	Tabla de variables ...	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	PROGRAMA2	Tabla de variables ...	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	PROGRAMA3	Tabla de variables ...	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	PROGRAMA4	Tabla de variables ...	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	INICIO	Tabla de variables ...	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	FINAL PROGRAMA	Tabla de variables ...	Bool	%M1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	CONDICIONES DE EJECUCION1	Tabla de variables ...	Bool	%M2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	TIEMPO DE EJECUCION	Tabla de variables ...	Time	%MD100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	EV12	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	EV7-NV6	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	EV7-NV9	Tabla de variables ...	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	P2	Tabla de variables ...	Bool	%Q1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	EV4-NV1	Tabla de variables ...	Bool	%Q1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35	TRANSDUCTOR DE PRESION CA	Tabla de variables ...	Int	%IW68	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
36	NORMA3	Tabla de variab...	Real	%MD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
37	ESCALA PRESION CAMARA	Tabla de variables ...	Real	%MD32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
38	CONTROL 1	Tabla de variables ...	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
39	CONTROL 2	Tabla de variables ...	Bool	%M10.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
40	CONTROL 3	Tabla de variables ...	Bool	%M10.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
41	<Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 118: Variables de programación.

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO VI – Simulación

El HMI de Tia Portal nos permite la simulación a través del software S7-PLCSIM, desde este panel de control y mando se sigue la secuencia elaborada en el desarrollo del presente proyecto, en la sección “3.1.3 Estructura de Control del Equipo”. A continuación, se irá ilustrando con las imágenes la simulación siguiendo la secuencia.

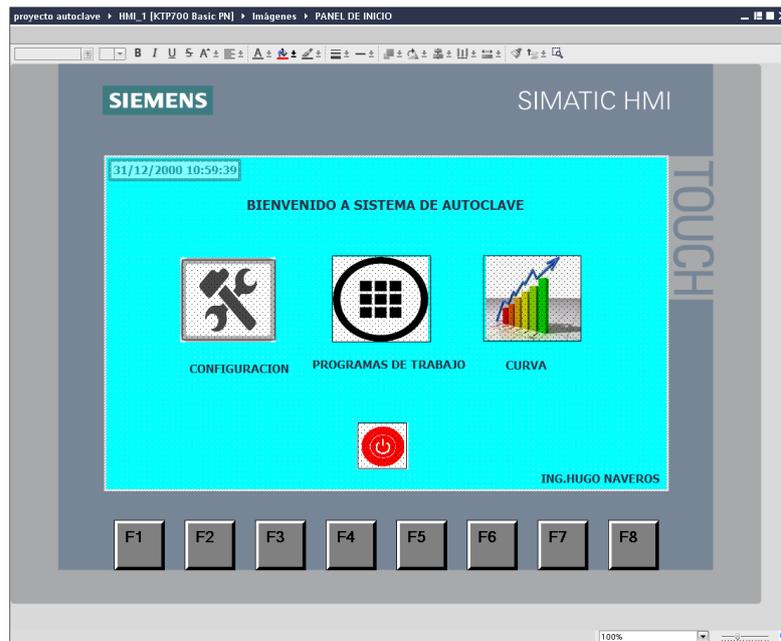


Figura 119: Panel de Control y Mando del HMI.

Fuente: Elaboración propia.

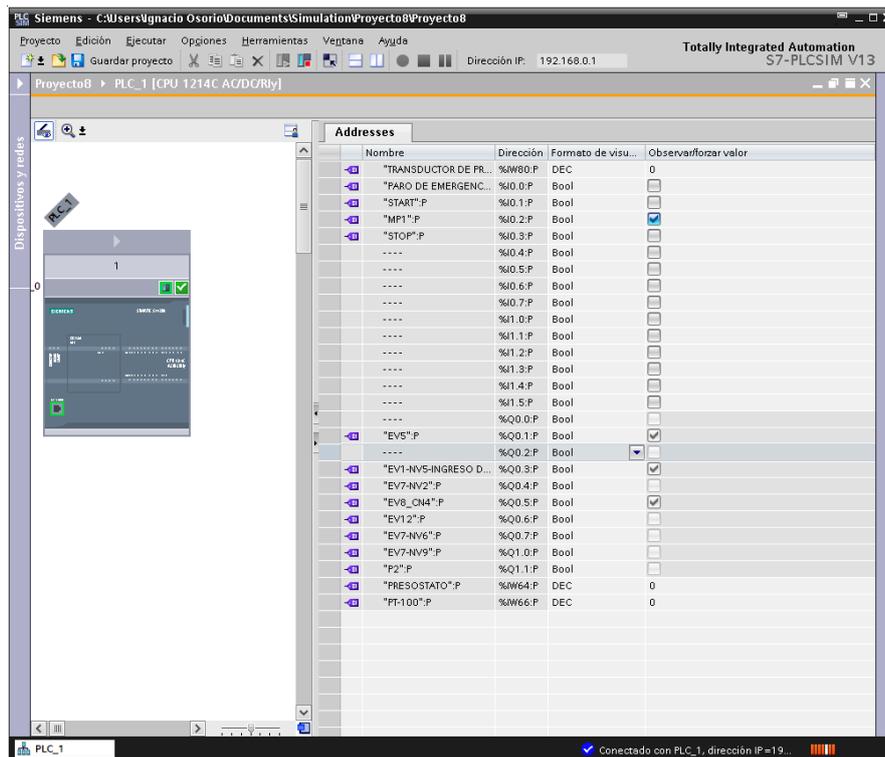


Figura 120: Variables del programa:

Fuente: Elaboración propia.



Figura 121: Receta de programas, mando y control del programa.

Fuente: Elaboración propia.

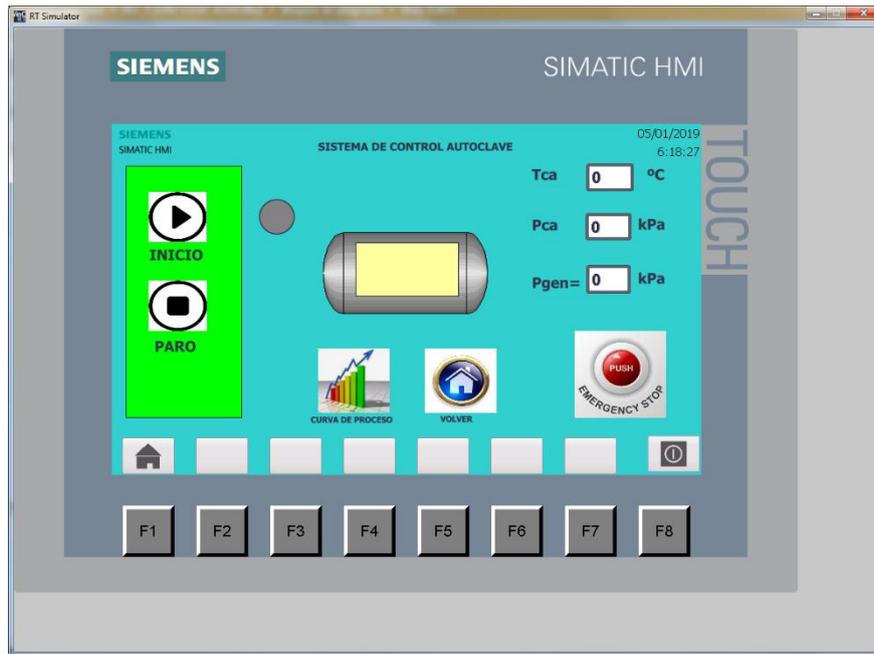


Figura 122: Panel del programa estándar seleccionado.

Fuente: Elaboración propia.

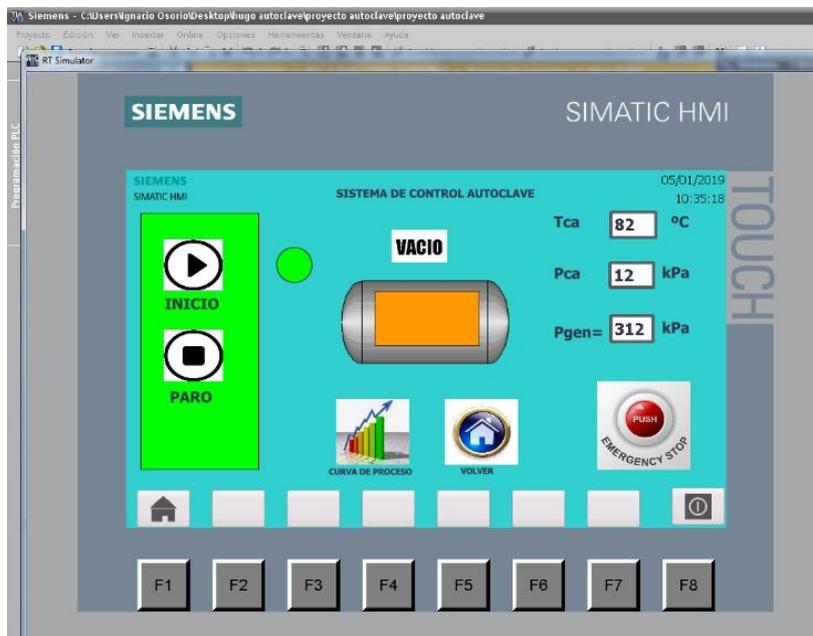


Figura 123: Panel Inicio del proceso de esterilización "VACIO".

Fuente: Elaboración propia.



Figura 124: Panel condicionamiento del proceso de esterilización “INYECCION”.

Fuente: Elaboración propia.

El VACIO y la INYECCION DE VAPOR, son pulsos de condicionamiento en el proceso de esterilización estos pulsos repiten ocho veces par un buen acondicionamiento para efectiva esterilización de un producto sanitario.

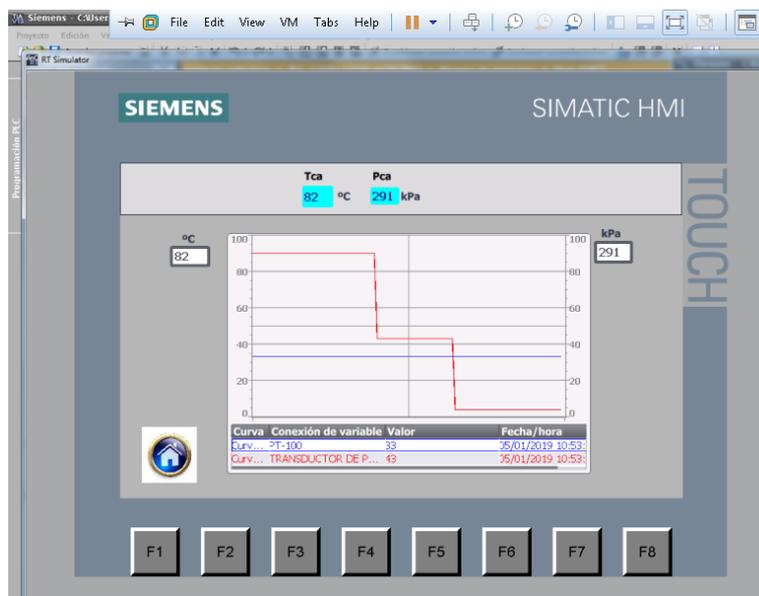


Figura 125: Panel de la gráfica del proceso de esterilización “INYECCION”.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 126: Panel de “CALENTAMIENTO” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

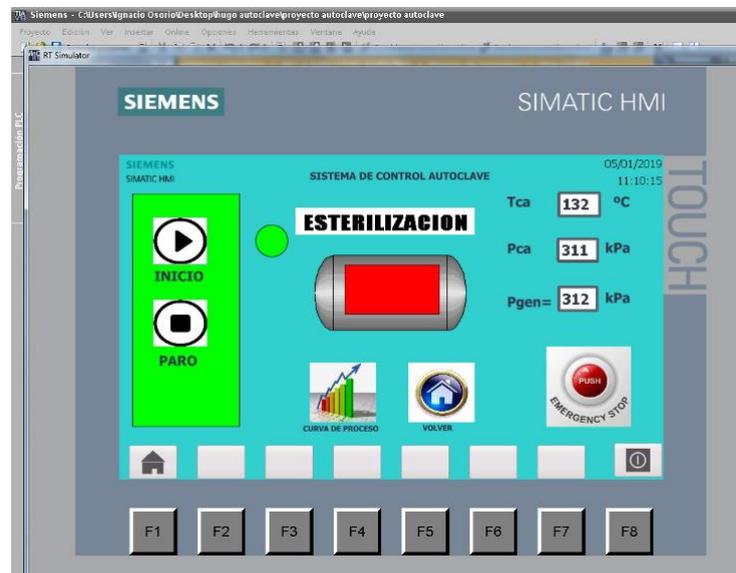


Figura 127: Panel de “ESTERILIZACION” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.

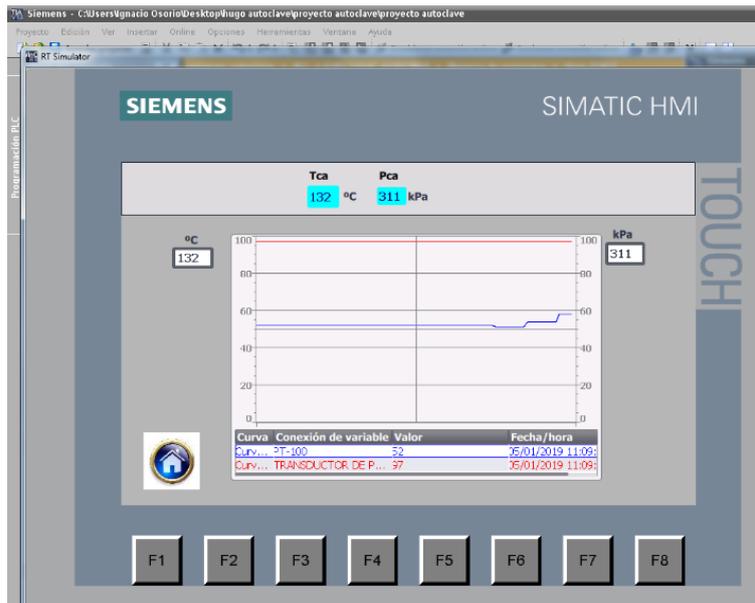


Figura 128: Panel de “ESTERILIZACION” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 129: Panel de “DESVAPORIZACION” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 130: Panel de “DESAPORIZACION” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 131: Panel de “FIN DE CICLO” del proceso de esterilización.

Fuente: Elaboración propia.