



# ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

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

TEMA: MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA  
LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LA  
CLÍNICA “NOVACLINICA SANTA CECILIA S.A.”

AUTORES:

GUILLÉN SÁNCHEZ JORGE RAMIRO

MAYA TULCANAZA DIEGO ALEJANDRO

SANGOLQUÍ– ECUADOR

2017



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: “MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LA CLÍNICA NOVACLINICA SANTA CECILIA S.A.”, realizado por los señores Jorge Ramiro Guillén Sánchez y Diego Alejandro Maya Tulcanaza, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, teóricos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Jorge Ramiro Guillén Sánchez y Diego Alejandro Maya Tulcanaza para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, Marzo de 2017



Ing. Hugo Ortiz MSc.  
**DIRECTOR**



# ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

### **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Jorge Ramiro Guillén Sánchez, con Cédula de Ciudadanía N° 1722387659, y Diego Alejandro Maya Tulcanaza, con Cédula de Ciudadanía N° 1712490711, declaramos que el trabajo de titulación “MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LA CLÍNICA NOVACLINICA SANTA CECILIA S.A.”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros, considerándose como fuentes de registro bibliográfico.

En consecuencia declaramos que este trabajo es de nuestra completa autoría, por tanto nos declaramos responsables de todo su contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Ramiro Guillén Sánchez'.

---

Jorge Ramiro Guillén Sánchez  
C.C.: 1722387659

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diego Alejandro Maya Tulcanaza'.

---

Diego Alejandro Maya Tulcanaza  
C.C.: 1712490711



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

### AUTORIZACIÓN

Nosotros, Jorge Ramiro Guillén Sánchez y Diego Alejandro Maya Tulcanaza, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LA CLÍNICA NOVACLINICA SANTA CECILIA S.A.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Marzo 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Ramiro Guillén Sánchez'.

---

Jorge Ramiro Guillén Sánchez  
C.C.: 1722387659

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diego Alejandro Maya Tulcanaza'.

---

Diego Alejandro Maya Tulcanaza  
C.C.: 1712490711

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres Ramiro e Irma quienes siempre están brindándome todo su amor, por enseñarme a perseverar hasta alcanzar la meta propuesta, quienes me han apoyado siempre sin importar las circunstancias de la vida, por estar en los mejores y en los peores momentos de mi vida ya que con su ejemplo, consejos han sabido forjar en mí una persona de bien, donde prevalecen más virtudes y valores para ser cada día mejor.

Quiero también dedicar este trabajo a Daniela, porque desde que la conozco se ha convertido en una persona muy importante en mi vida, por ser parte de mi motivación día a día, por tantas cosas compartidas en este pequeño sendero de la vida. Por el apoyo, comprensión, consejos y sobre todo por nunca permitir rendirme en medio sendero, este es un logro que alcanzamos juntos.

Jorge.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mi padre César por ser el apoyo incondicional y perseverante desde un inicio, dándome impulso y guiándome día a día a cumplir las metas que me he propuesto a lo largo de la vida, por enseñarme siempre a creer en mí mismo y a tomar las mejores decisiones, quien ha disfrutado conmigo los triunfos más grandes y a su vez ha puesto su hombro para secar mis lágrimas en las batallas más duras, por su arduo trabajo demostrándome siempre que en base al respeto, amor y paciencia se logra ser una mejor persona y un mejor profesional.

Quiero dedicar también este trabajo y todo el esfuerzo realizado a mi abuelita Mariana por ser una mujer excepcional y trabajadora que desde un inicio siempre estuvo preocupada por mi bienestar, por apoyarme en todo momento y por haberme brindando su amor incondicional desde mi niñez y siempre estar preocupada por mis estudios.

Diego.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme salud y vida para alcanzar siempre las metas propuestas, por los padres más maravillosos y ejemplares. A mis padres por depositar toda su confianza en mí, gracias por inculcar en mí los más grandes valores que puede tener un ser humano, respeto y responsabilidad, gracias por apoyarme en todo momento de sus vidas.

A mis hermanos que día a día siempre están allí, gracias porque siempre han sido mis compañeros, mis amigos, cómplices en todo el trayecto de mi vida y sobre todo porque juntos hemos aprendido a luchar y nunca rendirnos ante nada.

A todos mis compañeros de clases y amigos en especial a Diego por todos esos conocimientos compartidos y el tiempo dedicado para este proyecto. A Daniela por todos los buenos consejos, por estar en los buenos y malos momentos de mi vida, por apoyarme en todos los sueños que tengo, gracias por ser mi confidente.

Al ingeniero Hugo Ortiz, quien siempre ha sido un ejemplo a seguir. Le agradezco de manera muy especial por tomar tiempo para guiarnos en el proyecto, resultando en si un trabajo de alta calidad, por lo compartido por usted de manera muy profesional en este período.

Al personal quienes conforman NOVACLINICA S.A. principalmente al economista Mauricio Recalde, quienes abrieron cordialmente sus puertas y confiaron en nuestra formación para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Cesar Maya, por todo el tiempo invertido en la supervisión en la implementación, por todas las ideas aportadas y todos los consejos que siempre conllevaron a la realización satisfactoria del proyecto gracias a su gran experiencia laboral.

Jorge.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a mi padre Dios, por su infinito amor, por sus bendiciones brindadas a lo largo de mi vida, por haberme curado de la enfermedad de cáncer y siempre proteger a mí y a mi familia con la sangre de su hijo Jesucristo y ser quien ha brindado las facilidades para realizar este presente trabajo. Agradezco a mis padres Cesar y Mónica por brindarme su amor y su apoyo incondicional que hacen de mí una mejor persona, por todo el esfuerzo realizado de cada uno de ellos para poder culminar mis estudios y emprenderme a la vida profesional. A mis hermanos Carla, Israel y Sofy, su amor y su cariño hacen que mis días sean cada vez más felices junto a ellos, por ser mis mejores amigos y mis guías, que junto a su ternura y templanza hemos podido superar cualquier inconveniente, en especial a mi hermana Carla por ser como mi segunda madre siempre brindándome su ayuda incondicional en todo momento. A mis compañeros de clase y de trabajo por su cariño y respeto brindado en especial a Jorge que desde un principio fue como un hermano, su apoyo y su ayuda dentro y fuera de la carrera universitaria ha sido una bendición en mi vida. Al ingeniero Hugo Ortiz quien demuestra ser una persona y profesional honorable, de gran admiración y ejemplo a seguir; por ser la persona quien ha formado a exitosos profesionales, que juntamente impartiendo su conocimiento ha inculcado grandes valores en cada uno de nosotros. Le agradezco de manera muy especial por el tiempo brindado para ser nuestro guía y mentor dentro de este proyecto y a lo largo de la carrera universitaria. Al personal de NOVACLINICA S.A, en especial al Ec. Mauricio Recalde que desde un principio nos brindó las mejores facilidades y confió en nuestro conocimiento para la realización de nuestro proyecto. A mi padre Cesar Maya que con su conocimiento y experiencia laboral supo guiarnos y ser la persona que desde un principio y hasta el final del proyecto siempre estuvo preocupado para que todo el trabajo sea realizado satisfactoriamente.

Diego.

## PRÓLOGO

El presente proyecto describe el diseño y la implementación de un nuevo sistema de automatización y control para un sistema de generación y distribución de vapor.

En las primeras páginas se encontrara toda la información sobre el funcionamiento de un sistema de generación y distribución de vapor. Luego una descripción y caracterización detallada del sistema de generación y distribución de vapor que posee la clínica NOVACLINICA SANTA CECILIA S.A.; que permitirá le conocimiento, comprensión del funcionamiento del sistema.

Los planes de estudio del funcionamiento del subsistema de distribución de vapor de la clínica, están enfocados en un análisis estadístico de consumo de vapor en los diferentes procesos que intervienen en dicho subsistema

El diseño e implementación de un tablero de control general, con su respectivo interfaz humano-máquina, donde se puede realizar la visualización del proceso y la manipulación de ciertas variables de control, está documentada en su totalidad para futuras modificaciones de acorde a las necesidades que pueden surgir.

Por último, mediante la comparación de los datos obtenidos de la medición del consumo de vapor y tiempos de funcionamiento de cada proceso; se observa los resultados obtenidos al poner en funcionamiento el nuevo sistema de automatización y control, tanto software como hardware.

La finalidad de la automatización es obtener una eficiencia energética en base al ahorro de combustible que consume la caldera.

Este trabajo sirve de referencia técnica para futuros trabajadores encargados del mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de generación y distribución de vapor de la clínica NOVACLINICA SANTA CECILIA S.A.

# ÍNDICE GENERAL

## CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	viii
PRÓLOGO.....	ix
CONTENIDO.....	x
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES.....	7
2.1. DEFINICIÓN DE CALDERA.....	7
2.1.1. Partes principales que componen una caldera.....	8
2.1.2. Clasificación de las calderas.....	9
2.1.3. Caldera pirotubulares.....	10
2.1.4. Caldera acuotubulares.....	11
2.2. DEFINICIÓN GENERADORES DE VAPOR.....	12
2.2.1. Clasificación.....	13
2.3. DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	13
2.3.1. Sistemas distribuidores y recolectores de vapor.....	13

2.3.2.	Cabezales de vapor. ....	14
2.3.3.	Tuberías principales de vapor. ....	15
2.3.4.	Ramales de vapor. ....	16
2.4.	SENSOR DE TEMPERATURA RTD. ....	16
2.4.1.	Sensor de temperatura PT100. ....	17
2.5.	ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ELECTRÓNICA. ....	18
2.5.1.	Puente de Wheatstone. ....	18
2.6.	TABLERO ELÉCTRICO. ....	19
2.6.1.	Tablero de comando (T. COM.): ....	20
2.6.2.	Tableros de control (T. C.). ....	20
2.6.3.	Unidades de mando y señalización. ....	21
2.7.	TÉCNICAS DE CONTROL EN PROCESOS INDUSTRIALES. ....	22
2.8.	INTERFAZ HUMANO MÁQUINA - HMI. ....	23
2.8.1.	Introducción. ....	23
2.8.2.	Tipos De HMI. ....	23
	CAPÍTULO III. ....	26
3.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR. ....	26
3.1.	LEVANTAMIENTO DE DIAGRAMAS. ....	26
3.1.1.	Sistema de reserva de diésel. ....	26
3.1.2.	Sistema de generación de llama. ....	28
3.1.3.	Sistema de generación de vapor. ....	32
3.1.4.	Sistema de ablandamiento de agua. ....	41
3.1.5.	Sistema de distribución de vapor. ....	43
3.1.6.	Sistema de retorno de condensado. ....	46
3.2.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. ....	48
3.2.1.	Tanque principal de diesel. ....	48
3.2.2.	Bomba de combustible. ....	53
3.2.3.	Bombas centrífugas de agua. ....	54
3.2.4.	Tanques de agua caliente. ....	55

3.2.5.	Plancha Industrial.....	55
3.2.6.	Secadora de Ropa. ....	56
3.2.7.	Esterilizador.....	57
3.3.	MODELO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCION DE VAPOR.....	58
3.4.	LEVANTAMIENTO DE PLANOS. ....	59
3.4.1.	Diagramas de bloques.....	59
	CAPÍTULO IV .....	60
4.	DISEÑO. ....	60
4.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	60
4.1.1.	Definición del controlador principal.....	61
4.2.	DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN TANQUE DE AGUA CALIENTE N1 Y N2.....	63
4.2.1.	Diagnóstico del control de temperatura. ....	63
4.2.2.	Requisitos del nuevo control de temperatura. ....	63
4.2.3.	Implementación de acciones. ....	64
4.2.4.	Control ON-OFF con hysteresis.....	72
4.2.5.	Medición de temperatura. ....	73
4.2.6.	Transmisión de la temperatura. ....	74
4.2.7.	Diseño del diagrama de interconexión del control de temperatura. ....	76
4.3.	DISEÑO DEL CONTROL DE ACTIVACIÓN DE LA BOMBAS DE AGUA.....	78
4.3.1.	Diagnóstico del control de encendido de bombas. ....	78
4.3.2.	Planeación del nuevo control de encendido de bombas. ....	79
4.3.3.	Diseño del diagrama de interconexión del control de encendido de bombas de agua. ....	79
4.4.	DISEÑO DE CONTROL DE PRESIÓN EN EL ESTERILIZADOR. ....	82
4.4.1.	Diagnóstico del control de presión en esterilizador. ....	82

4.4.2.	Planeación del nuevo control de presión en el equipo de esterilización.....	82
4.4.1.	Diseño del diagrama de interconexión del control de presión en el esterilizador.....	83
4.5.	DISEÑO DE CONTROL DE VAPOR EN LAS MÁQUINAS DEL ÁREA DE LAVANDERÍA.....	86
4.5.1.	Diagnóstico de control de vapor en plancha y secadora industrial.....	86
4.5.2.	Planeación del control de vapor en las máquinas de lavandería. ..	88
4.5.3.	Diseño del diagrama de interconexión del control en las máquinas de lavandería. ....	88
4.6.	DISEÑO DEL CONTROL DE ACTIVACIÓN DE LA CALDERA. ....	91
4.6.1.	Diagnóstico del control de activación de caldera. ....	91
4.6.2.	Planeación del monitoreo del encendido y apagado de caldera. ...	91
4.6.1.	Diseño de conexiones del control de activación de la caldera. ....	92
4.7.	DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS.....	94
4.7.1.	Actuadores y preactuadores del sistema de control.....	94
4.7.2.	Elementos de mando y control.....	95
4.7.3.	Elementos de visualización. ....	97
4.7.4.	Elementos de protección.....	98
4.7.5.	Controlador lógico programable – PLC. ....	99
4.8.	DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL.....	101
4.8.1.	Norma IEC 60439-1. ....	101
4.9.	DISEÑO DE INTALACIONES ELÉCTRICAS.....	106
4.9.1.	Dimensionamiento de cable. ....	106
4.9.2.	Planeación de conexiones eléctricas en tablero eléctrico. ....	106
4.9.3.	Dimensionamiento.....	107
4.10.	DISEÑO DE SOFTWARE.....	108
4.10.1.	Diagrama de flujo del control de temperatura de los tanques de agua caliente.....	108

4.10.2.	Diagrama de flujo del control de activación de las bombas de agua.....	111
4.10.3.	Diagramas de flujo del control de presión en el esterilizador.....	113
4.10.4.	Diagrama de flujo del control en las maquinas del área de lavandería.....	114
4.10.5.	Diagrama de flujo del control de activación de la caldera.....	115
4.11.	DISEÑO MECÁNICO.....	116
4.11.1.	Selección de tubería.....	116
4.11.2.	Selección de elementos.....	117
4.11.3.	Estructura mecánica.....	117
4.12.	DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA – HMI.....	118
4.12.1.	Características del usuario.....	118
4.12.2.	Características del HMI.....	119
4.12.3.	Estructuras de las pantallas de operación.....	121
	CAPITULO V.....	125
5.	IMPLEMENTACIÓN.....	125
5.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.....	125
5.2.	INTEGRACIÓN DE ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL.....	130
5.3.	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR.....	135
5.3.1.	Instalación del software.....	135
5.3.2.	Configuración de red PC-PLC.....	136
5.3.3.	Configuración Rslogix 500.....	140
5.3.4.	Desarrollo de la programación.....	142
5.4.	DESARROLLO DE LOS HMI'S.....	143
5.4.1.	Interfaz generador de vapor.....	143
5.4.2.	Interfaz tanques de agua caliente.....	145
5.4.3.	Interfaz área de lavandería.....	147
5.4.4.	Interfaz área esterilizador.....	149
5.5.	PUESTA EN MARCHA.....	151

5.5.1.	Tablero eléctrico. ....	151
5.5.2.	Control de temperatura en tanques de agua caliente. ....	156
5.5.3.	Control de presión en esterilizador. ....	158
5.5.4.	Electroválvula en plancha industrial. ....	160
5.5.5.	Electroválvulas en la secadora verde. ....	162
	CAPÍTULO VI. ....	164
6.	PRUEBAS Y RESULTADOS. ....	164
6.1.	CONTROL DE TEMPERATURA. ....	164
6.1.1.	Medición del condensado en los tanques de agua caliente. ....	164
6.2.	CONTROL DE PROCESOS EN LAVANDERÍA. ....	166
6.2.3.	Control de presión en esterilizador. ....	170
	CAPITULO VII. ....	172
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	172
7.1.	CONCLUSIONES. ....	172
7.2.	RECOMENDACIONES. ....	173
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	174
	ANEXOS. ....	176

## TABLAS

Tabla 1.	Datos técnicos del tanque de diesel de NOVACLINICA. ....	49
Tabla 2.	Datos técnicos de la caldera de NOVACLINICA. ....	50
Tabla 3.	Datos técnicos de la bomba de combustible. ....	54
Tabla 4.	Datos técnicos de bombas de Agua. ....	54
Tabla 5.	Datos técnicos Tanques de agua caliente. ....	55
Tabla 6.	Datos técnicos de la plancha de NOVACLINICA. ....	56
Tabla 7.	Datos Tecnicos de la Secadora verde de Novaclinica. ....	57
Tabla 8.	Datos tecnicos del esterilizador de NOVACLINICA. ....	57
Tabla 9.	Definición de los procesos a controlar. ....	60
Tabla 10.	Peso de condensado en Lbs/ hora -tanque Nro. 2. ....	66

Tabla 11. Rangos de temperatura - Vs -Hora del día. ....	72
Tabla 12. Tiempos de funcionamiento diario de planchado. ....	86
Tabla 13. Actuadores del sistema de control. ....	94
Tabla 14. Pre actuadores del sistema de control. ....	95
Tabla 15. Descripción de elementos de mando. ....	95
Tabla 16. Descripción de elementos de control. ....	96
Tabla 17. Descripción de elementos de control. ....	97
Tabla 18. Descripción elementos de protección. ....	98
Tabla 19. Descripción de variables del controlador. ....	99
Tabla 20. Siglas aislamiento conductores (VOLTECK). ....	107
Tabla 21. Peso de condensado ....	164
Tabla 22. Tiempo de secado con carga de 20 lbs ....	167
Tabla 23. Tiempo de secado con carga de 20 lbs. ....	167
Tabla 24. Tiempo de secado con carga de 20 lbs. ....	167
Tabla 25. Tiempos de consumo de vapor en proceso de planchado ....	168
Tabla 26. Proceso de esterilización. ....	171

## FIGURAS

Figura 1 Caldera pirotubular. ....	7
Figura 2 Partes constructivas de la caldera. ....	9
Figura 3. Caldera pirotubular. ....	10
Figura 4. Caldera acutubular. ....	12
Figura 5 Generador de vapor. ....	12
Figura 6. Distribuidor de vapor. ....	14
Figura 7. Funcionamiento trampa de vapor. ....	15
Figura 8. Distribuidor de vapor. ....	16
Figura 9. Características RTD según materiales. ....	18
Figura 10. Puente de Wheastone. ....	19

Figura 11. Tablero de mando. ....	20
Figura 12. Tablero de control. ....	20
Figura 13. Mando y Señalización. ....	21
Figura 14. Panel táctil HMI.....	24
Figura 15. Monitoreo HMI. ....	24
Figura 16. Proceso de generación y distribución de vapor. ....	26
Figura 17. Sistema de reserva de diésel. ....	27
Figura 18. Tanque primario y secundario de diesel.....	28
Figura 19. Sistema de generación de llama. ....	28
Figura 20. Quemador de caldera NOVACLÍNICA.....	29
Figura 21. Sistema de control de llama. ....	30
Figura 22. . Controlador de llama Honeywell (Honeywell). ....	31
Figura 23. Esquema de conexiones Controlador Honeywell. ....	31
Figura 24. Sistema de generación de vapor. ....	32
Figura 25. Caldera de NOVACLINICA.....	33
Figura 26. Control de nivel de agua en la caldera. ....	34
Figura 27. Controlador de nivel de agua McDonnell & Miller .....	35
Figura 28. Conexiones de McDonnell & Miller. ....	36
Figura 29. Estado de la caldera y accionamientos de la bomba de agua. ....	37
Figura 30. McDonnell & Miller NOVACLINICA.....	37
Figura 31. Control de presión en caldera. ....	38
Figura 32. Controlador de Presión. ....	39
Figura 33. Presuretroles en Caldera Novaclinica.....	41
Figura 34. Sistema de ablandamiento de agua.....	42
Figura 35. Proceso ablandamiento de agua. ....	42
Figura 36. Ablandador NOVACLINICA.....	43
Figura 37. Esquema distribuidor de vapor NOVACLINICA.....	44
Figura 38. Distribuidor de Vapor Novaclinica.....	44
Figura 39. Esquema de máquinas lavandería .....	45
Figura 40. Esterilizador NOVACLINICA.....	45

Figura 41. Esquema de tanque de agua caliente. ....	46
Figura 42. Sistema de retorno de condensado. ....	47
Figura 43. Tanque de condensado de NOVACLICA. ....	48
Figura 44. Identificación NFPA704. ....	48
Figura 45. Placa de la caldera de NOVACLINICA. ....	50
Figura 46. Bomba de combustible. ....	53
Figura 47. Bombas Centrifugas verticales CRT. ....	54
Figura 48. Tanques de agua caliente en Novaclinica. ....	55
Figura 49. Plancha Industrial en NOVACLINICA. ....	56
Figura 50. Secadora de ropa con sus conexiones de vapor. ....	56
Figura 51. Esterilizador de NOVACLINICA. ....	57
Figura 52. Sistema de generación de vapor. ....	58
Figura 53. Sistema de distribución de vapor. ....	59
Figura 54. Esquema del controlador principal. ....	62
Figura 55. Medición de condensado. ....	65
Figura 56. Esquema de medición de condensado. ....	65
Figura 57. Medición del peso de condensado. ....	66
Figura 58. Instalación de tubería. ....	66
Figura 59. Peso de condensado día lunes. ....	67
Figura 60. Peso condensado día martes. ....	67
Figura 61. Peso condensado día miércoles. ....	68
Figura 62. Peso de condensado día jueves. ....	68
Figura 63. Peso de condensado día viernes. ....	68
Figura 64. Peso condensado día sábado. ....	69
Figura 65. Peso condensado día domingo. ....	69
Figura 66. Históricos de consumo diario. ....	70
Figura 67. Media de consumo diario. ....	70
Figura 68. Varianza de consumo diario. ....	71
Figura 69. Varianza de consumo diario. ....	71
Figura 70. Control ON-OFF con Histeresis. ....	72

Figura 71. PT100 Tipo B. ....	73
Figura 72. Esquema de puente de Wheastone 1 .....	74
Figura 73. Esquema puente de Wheastone 1. ....	76
Figura 74 Interconexiones eléctricas - Control de temperatura.....	78
Figura 75. Diseño control encendido bombas. ....	81
Figura 76 Interconexiones eléctricas control esterilizador .....	85
Figura 77. Gráfica de consumo de vapor de plancha industrial .....	87
Figura 78. Interconexiones eléctricas -Control de vapor en máquinas de lavandería. ....	90
Figura 79. Control Encendido de caldera. ....	92
Figura 80. Interconexiones eléctricas -Control encendido caldera .....	93
Figura 81. Controlador Lógico Programable .....	100
Figura 82. Grados de protección. ....	102
Figura 83. Grados de protección indicados por la segunda cifra característica. ....	103
Figura 84. Descripción de la protección proporcionada por las letras adicionales.....	103
Figura 85. Distribución de elementos internos. ....	104
Figura 86. Distribución de elementos externos. ....	105
Figura 87. Calibre de conductor Vs Corriente de Consumo. ....	106
Figura 88. Diagrama de flujo del control de temperatura. ....	109
Figura 89. Diagrama de flujo de la subrutina automático. ....	110
Figura 90. Diagrama de flujo del programa principal del control de activación de las bombas.....	111
Figura 91. Diagrama de flujo del horómetro de las bombas. ....	112
Figura 92. Diagrama de flujo Del modo automático de las bombas. ....	112
Figura 93. Diagrama de flujo del control de presión en esterilizador.....	113
Figura 94. Diagrama de flujo del control de vapor en máquinas de lavandería. ....	114
Figura 95. Diagrama de flujo - Control de activación de caldera.....	115

Figura 96. Propiedades de Acero negro ASTM A 53. ....	116
Figura 97. Vista 3D Estructura Mecánica de paso de vapor en máquinas de lavandería.....	117
Figura 98. Arquitectura HMI.....	120
Figura 99. Pantalla principal. ....	121
Figura 100. Tanques agua caliente. ....	122
Figura 101. Esterilizador. ....	122
Figura 102. Color fondo pantalla.....	123
Figura 103. Color fondo paneles.....	123
Figura 104. Color texto. ....	124
Figura 105. Estructura del tablero eléctrico. ....	125
Figura 106. Bandeja del tablero electrico con canaletas y riel.....	126
Figura 107. Ubicacion de los elementos en la riel. ....	126
Figura 108. Ubicacion de elemntos en la riel.....	127
Figura 109. Distribución espacial.....	127
Figura 110. Presentación de la Puerta con los elementos incluidos. ....	128
Figura 111. Tablero de control con los elementos incluidos. ....	128
Figura 112. Conexion entre elementos del tablero. ....	129
Figura 113. Conexiones entre elemntos del tablero. ....	129
Figura 114. Montaje del tablero de control en la pared.....	130
Figura 115. Electrovalvula en tanque N1 y N2. ....	131
Figura 116. Conexion de la electrovalvula con Bypass. ....	131
Figura 117. Montaje de la electrovalvula.....	132
Figura 118. Cableado de la electrovalvula. ....	132
Figura 119. Incorporación elemento de protección. ....	133
Figura 120. Instalación del presuretrol.....	133
Figura 121. Cableado del presuretrol.....	134
Figura 122. Cableado de la electroválvula de la secadora verde. ....	135
Figura 123. Instalacion Rslogix 500. ....	135
Figura 124. Instalación de Rslogix. ....	136

Figura 125. Selección directorio. ....	136
Figura 126. Red PLC- PC. ....	137
Figura 127. Rangos de Direcciones IP. ....	137
Figura 128. Conexiones de Red-PC. ....	138
Figura 129. Conexiones área local PC. ....	138
Figura 130. Propiedades TCP/IP y Dirección IP-PC. ....	139
Figura 131. BOOTP-DHCP-SERVER. ....	139
Figura 132. Reconocimiento PLC. ....	139
Figura 133. Dirección IP-PLC. ....	140
Figura 134. Panel IPCONFIG Micrologix 1100. ....	140
Figura 135. Programa RSlogix 500. ....	141
Figura 136. Selección del PLC Rslogix500. ....	141
Figura 137. Lectura de entradas y salidas Rslogixs 500. ....	141
Figura 138. Topic Configuration. ....	142
Figura 139. Nuevo Topic "conexión". ....	142
Figura 140. HMI Generación de vapor. ....	143
Figura 141. Elementos gráficos-Generador de vapor. ....	144
Figura 142. Elementos de emergencia -Generación y distribución de vapor. ....	145
Figura 143. Elementos Gráficos - Tanques de agua caliente. ....	146
Figura 144. Elementos- Tanques de agua caliente. ....	147
Figura 145. Elementos Gráficos - Área de Lavandería. ....	147
Figura 146. Elementos gráficos - Área de lavandería. ....	149
Figura 147. Elementos gráficos – Esterilizador. ....	149
Figura 148. Elementos gráficos – Esterilizador. ....	151
Figura 149. Selector ON/OFF caldera. ....	152
Figura 150. Tablero de control en caldera. ....	152
Figura 151. HMI Principal caldera. ....	152
Figura 152. Selector modo de operación bombas. ....	153
Figura 153. Temporizador bombas. ....	153
Figura 154. Selección de bomba - Modo manual. ....	154

Figura 155. Botón Emergencia - Tablero .....	154
Figura 156. Emergencia activado – HMI. ....	155
Figura 157. Selector ON/OFF – Caldera. ....	155
Figura 158. Caldera apagada – HMI. ....	156
Figura 159. Luces activación - Tanques de agua caliente. ....	156
Figura 160. Control Temperatura Tanques - HMI .....	157
Figura 161. Control temperatura tanque N1 - Modo manual. ....	157
Figura 162. Control temperatura Tanque N2 - Modo manual. ....	158
Figura 163. Control Presión -Presuretrol - Esterilizador .....	158
Figura 164. Proceso de Esterilización – HMI.....	159
Figura 165 Presión de entrada mayor a 40 psi – HMI.....	160
Figura 166. Área de planchado – NOVACLINICA. ....	160
Figura 167. Lavandería - HMI.....	161
Figura 168. Modo manual lavandería – HMI.....	161
Figura 169. Estado de lavandería - Tablero de control. ....	162
Figura 170. Proceso de retiro de ropa seca - Lavandería .....	162
Figura 171. Monitorización de trabajo - secadora y plancha – lavandería. ....	163
Figura 172. Media del consumo diario.....	165
Figura 173. Media del consumo diario sin control. ....	165
Figura 174. Gráfico de control de consumo de vapor con nuevo sistema de control .....	170
Figura 175. Gráfico de control de consumo de vapor sin control .....	170
Figura 176. Gráfico de control proceso de esterilización .....	171

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN.

#### 1.1. ANTECEDENTES.

Las calderas de vapor son instalaciones industriales las cuales funcionan mediante la aplicación de un combustible sólido, líquido o gaseoso; su principal objetivo es vaporizar el agua para poder así obtener diferentes aplicaciones. Estos artefactos fueron utilizados hasta el siglo XIX como medios para teñir ropa y producir vapor para limpieza, hasta que Denis Papin inventó una caldera de pequeñas dimensiones llamada “marmita”; con ella se trató de reemplazar los modelos anteriores pero el intento fracasó. La caldera de vapor más elemental fue diseñada por Papin en 1769 pero quien la desarrolló fue James Watt en 1776; estas calderas eran utilizadas para accionar bombas de agua, tenían una forma cilíndrica vertical y eran de una larga vida útil; fueron éstas las responsables de la revolución industrial la cual comenzó en dicho siglo

Cuando James Watt observó que se podría utilizar el vapor como una fuerza económica que reemplazaría la fuerza animal y manual, se empezó a desarrollar la fabricación de calderas, hasta llegar a las que actualmente tienen mayor uso en las distintas industrias. Las primeras calderas tuvieron el inconveniente de que los gases calientes estaban en contacto solamente con su base, y en consecuencia se desaprovechaba el calor del combustible.

La generación de vapor a escala industrial cuenta con más de 200 años de historia. El primer siglo se caracteriza exclusivamente por calderas comparables con las actuales calderas pirotubulares. En el año 1875 después de que James Watt inventó la caldera y la máquina de vapor, la empresa Steinmüller diseñó la primera caldera acuotubular, era una caldera con presión de 3 bar y una superficie de calefacción de 2,5 m<sup>2</sup>.

Desde entonces, el desarrollo de las calderas acuotubulares ha sufrido un cambio de rumbo en lo que se refiere a presión y capacidad. En 1927 entró en servicio la primera caldera Benson con una capacidad de 30t/h a 180 bar y 450° C.

En 1970 se consiguió una producción máxima de 1000t/h. sólo 5 años más tarde fue posible fabricar calderas de tubos de agua con capacidades de vapor de más de 2000t/h.

La caldera acuotubular que posee la clínica “Novaclínica Santa Cecilia” funciona en promedio 20 horas diarias con un promedio de descanso de 30 minutos cada 3 horas, dicha caldera funciona en un rango de 60 Bar a 110 Bar de presión de vapor; las bombas de presión succionan agua tratada la misma que es filtrada y almacenada en el tanque de condensado, donde se deposita el condensado de las líneas de vapor, y con una presión de 60 psi el agua es suministrada hacia el caldero; Además el combustible diésel necesario para la combustión se encuentra en un tanque de reserva externa con capacidad de 1000 litros. El sistema de distribución de vapor posee cuatro líneas de consumo, dos son para suministro de agua caliente para toda la institución, una línea para el cuarto de máquinas de lavado, secado y planchado y una línea para el área de esterilización.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.**

El sistema de control con el que cuenta NOVACLÍNICA SANTA CECILIA es de tecnología antigua, lo que dificulta la identificación de fallas en el sistema de generación y distribución de vapor, teniendo que apagar todo el sistema para verificar cada línea de vapor y así encontrar en donde está la falla y solventarla; Este procedimiento se lo realiza manualmente y durante estos trabajos se paraliza el uso de vapor hacia las máquinas quirúrgicas y suministro de agua caliente.

Al realizar el mantenimiento correctivo correspondiente, por la falta de normalización en las instalaciones eléctricas, electrónicas y la inexistencia de documentación como son planos eléctricos y manual de funcionamiento del sistema de distribución de vapor; este mantenimiento demora varias horas hasta reparar el inconveniente.

Cabe mencionar que las máquinas de lavandería tienen un funcionamiento permanente innecesario por lo que se debería programar el uso de las mencionadas cuando sea necesario, ya que esto genera un desperdicio de combustible y adicionalmente provoca una contaminación ambiental y un gasto económico a la institución.

Entendiendo que es primordial contar con el funcionamiento correcto del sistema de generación de vapor para poder realizar de manera normal las actividades en NOVACLÍNICA S.A. se vio la necesidad del diseño e implementación de un tablero de control que permita al operador un manejo eficiente de las líneas de consumo de vapor, optimizando el tiempo al momento de realizar el mantenimiento correctivo, y controlando el funcionamiento de las máquinas de lavandería ahorrando recursos y la vida útil de los elementos que componen el sistema de distribución y generación de vapor.

El proyecto otorgará una oportunidad importante a los estudiantes encargados del mismo para afianzar conocimientos y reafirmar las bases teórico – prácticas impartidas en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ya que se pone en práctica lo aprendido al enfrentarse a problemas reales dentro de un ambiente industrial.

### **1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.**

El presente proyecto incluye la modernización y el cambio del sistema de mando y control de generación y distribución de vapor para crear las condiciones correctas para la quema de combustible y controlar el consumo

innecesario de vapor en las diferentes áreas de trabajo; el proyecto se dividirá en las siguientes etapas: Identificación de elementos y levantamiento de planos "As Built" del sistema, diseño, simulaciones e implementación del sistema automatizado y pruebas.

En la primera etapa del proyecto se realizará una identificación de sensores y actuadores, así como de sus especificaciones técnicas y funciones en el sistema para de esta manera caracterizar detalladamente el proceso que se desea automatizar. Para apoyar y documentar este proceso de identificación se realizarán los respectivos diagramas de conexiones, diagramas P&ID y diagramas de bloques del proceso a automatizarse.

La segunda etapa del proyecto consistirá en el diseño del sistema de automatización. Para eso se deberá definir las técnicas y estrategias de control que se utilizarán; se realizará el diseño para el registro de consumo de combustible mediante un medidor de caudal en la línea de alimentación de diésel hacia el caldero, obteniendo datos estadísticos con los cuales trabajará el nuevo sistema de control.

Toda caldera está equipada con un quemador dimensionado para suplir el poder calorífico que se requiere para generar vapor, estimar el consumo de calor mediante el análisis de BTU / hora que requiere una caldera nos permite también estimar el consumo nominal de combustible de la caldera. Este procedimiento permitirá documentar teóricamente los consumos nominales del combustible.

Se diseñará e implementará un sistema de control de temperatura en los dos tanques hidroneumáticos para la distribución del agua caliente hacia toda la institución con una temperatura adecuada. El consumo de agua que utiliza el sistema de generación y distribución de vapor, será medido mediante el diseño de un sistema control de nivel de agua en el tanque de almacenamiento, el mismo que brindará seguridad en el encendido de las bombas que llevan el

agua al caldero, evitando que las bombas trabajen en vacío y así el funcionamiento esté en condiciones estables.

El PLC (controlador lógico programable), el cual deberá trabajar en el encendido y apagado del caldero logrando así el ahorro de combustible, ya que el sistema de distribución de vapor estará encendido exactamente las horas necesarias de trabajo.

Se realizará un análisis del tipo de programación del PLC y de los módulos necesarios para las conexiones del sistema. Todas las conexiones de la etapa de control hacia la etapa de potencia y viceversa, se realizarán utilizando tableros eléctricos y conexiones eléctricas que se encuentran en las áreas de trabajo de acuerdo a normas internacionales, brindando seguridad y una adecuada información técnica para futuros mantenimientos del sistema.

Se realizará el diseño y desarrollo de interfaces HMI que permitirán al operario manipular la apertura y cierre de electroválvulas en las distintas áreas de consumo de vapor, el modificar las horas de trabajo del caldero de acuerdo a los requerimientos del jefe de mantenimiento y visualizar las líneas de consumo de vapor que se encuentran activas.

La tercera y última etapa del proyecto corresponde a la implementación y pruebas del sistema automatizado. Las pruebas respectivas se realizarán para comprobar que el sistema de generación y distribución de vapor funcione de manera correcta en los tiempos de accionamientos y mediciones; de ser necesario, en esta última etapa con el sistema en funcionamiento, se realizarán los respectivos reajustes y correcciones sobretodo en la parte del software del sistema para que funcione óptimamente.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general.**

- Modernizar el sistema de control para la generación y distribución de vapor, en la clínica Nova clínica Santa Cecilia aplicando tecnologías actuales que brinden flexibilidad y eficiencia al nuevo sistema.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Describir el funcionamiento del sistema de manera clara y detallada mediante el desarrollo de bloques funcionales, planos eléctricos y planos P&ID que permitan identificar las variables de control a utilizar.
- Seleccionar los tipos de control a utilizar en los diferentes subsistemas, realizando un análisis del funcionamiento en cada uno de ellos, para determinar el control apropiado.
- Aplicar normas técnicas en las conexiones eléctricas para lograr una identificación detallada y confiable del funcionamiento de los procesos de control que posee el sistema de generación de vapor.
- Diseñar un HMI intuitivo y versátil, utilizando la guía GEDIS y aplicando la norma ISA 101, para tener un monitoreo constante del funcionamiento del sistema.
- Elaborar la documentación técnica del sistema de mando y control modernizado, para el procedimiento de operación, mantenimiento preventivo y/o correctivo del sistema de generación y distribución de vapor.
- Evaluar la eficiencia del nuevo sistema de generación y distribución de vapor, mediante el análisis estadístico semanal de ahorro de quema de combustible diésel que consume la caldera.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES.

#### 2.1. DEFINICIÓN DE CALDERA.

La definición de caldera industrial señala que son dispositivos empleados para calentar agua o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica, las calderas industriales cuentan con un compartimiento en donde el combustible se consume, mientras que en otro compartimiento se coloca el agua que luego se convertirá en vapor.

Funcionan mediante la transferencia de calor, producido generalmente al quemarse un combustible.

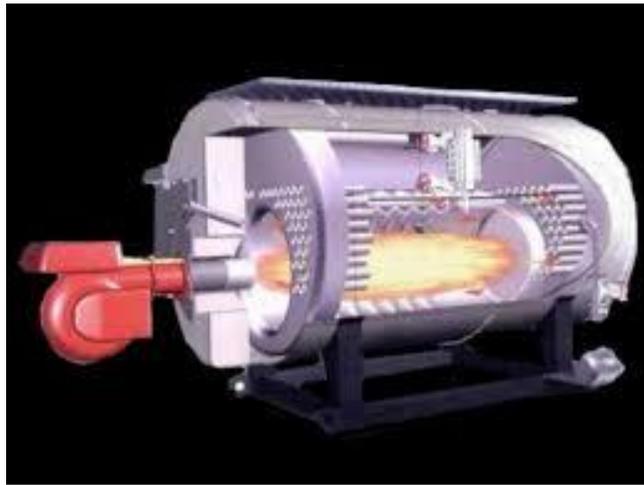


Figura 1 Caldera pirotubular.

Fuente: (Absorsistem, 2009)

En cada caldera como se muestra en la figura 1 se distinguen 2 zonas importantes:

- Zona de liberación de calor u hogar o cámara de combustión: Es el lugar donde se quema el combustible.

- Zona de tubos: Es la zona donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases - agua). Está constituida por tubos dentro de los cuales pueden circular los humos o el agua.

El principio básico de funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde se produce la combustión, con la ayuda del aire comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor. Su objetivo es generar vapor para plantas de fuerza, procesos industriales y calefacción. (Absorsistem, 2009)

### **2.1.1. Partes principales que componen una caldera.**

Debido a que cada caldera dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. En razón a lo anterior se analizarán las partes principales de las calderas en forma general.

En la figura 2 se muestra de una manera más clara, comprensible y detallada las partes constitutivas de una caldera pirotubular horizontal:

1. Hogar.
2. Haz de tubos.
3. Quemador.
4. Válvula de seguridad.
5. Conexión para control de nivel de agua.
6. Ventilador de caldera.
7. Controladores de flujo y presión de combustible.
8. Tapa frontal.
9. Tapa posterior.
10. Espejos

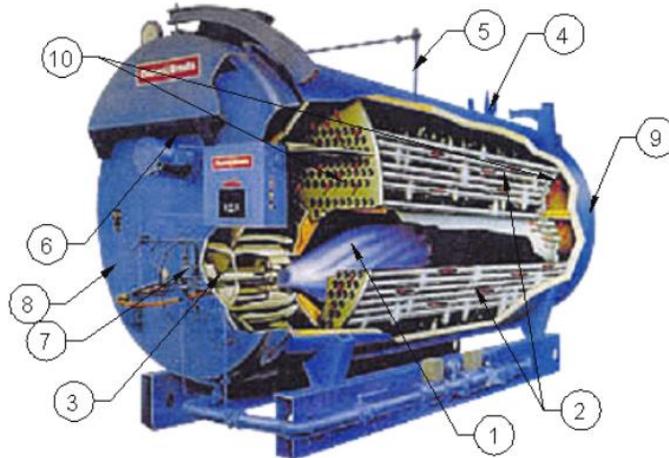


Figura 2 Partes constructivas de la caldera.

Fuente: (Absorsistem, 2009)

- **Dispositivos de control y seguridad.**

Que sin duda alguna son aquellos que garantizan el correcto funcionamiento del equipo. A continuación se mencionan algunos de ellos (Estrucplan, 2011):

- Control de nivel de agua.
- Control de presión.
- Válvula de seguridad.
- Detector de llama.

### 2.1.2. Clasificación de las calderas.

Existen varias características que dan lugar a varias agrupaciones de las calderas que pueden ser:

En función a la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión:

- Con tubos múltiples de humo – Piro tubulares.
- Con tubos múltiples de tubos de agua – Acuotubulares.

En función a la circulación del agua y de los gases calientes en la zona de tubos de las calderas.

- **Piro tubulares o tubos de humo.**

En estas calderas, los humos pasan dentro de los tubos, cediendo su calor al agua que los rodea.

- **Acuotubulares o tubos de agua.**

El agua circula por dentro de los tubos, captando calor de los gases calientes que pasan por el exterior. (López, 2013)

### 2.1.3. Caldera piro tubulares.

Las calderas piro tubulares horizontales como se muestra en la figura 3, también conocidas como calderas de tubos de fuego, se caracterizan por generar vapor saturado que es ampliamente utilizado en la mayoría de las industrias en la actualidad, siendo las más populares aquellas que funcionan con quemadores de diesel.



Figura 3. Caldera piro tubular.

Fuente: (López, 2013)

Estas calderas también son denominadas también igneotubulares o **pirotubulares** y pueden ser verticales u horizontales.

Se caracterizan por disponer de tres partes bien definidas:

- ✓ Una caja de fuego donde va montado el hogar. Esta caja puede ser de sección rectangular o cilíndrica, es de doble pared, por lo que el hogar queda rodeado de una masa de agua.
- ✓ Un cuerpo cilíndrico atravesado, longitudinalmente, por tubos de pequeño diámetro, por cuyo interior circulan los gases calientes.
- ✓ Una caja de humos, que es la prolongación del cuerpo cilíndrico, a la cual llegan los gases después de pasar por el haz tubular, para salir hacia la chimenea. Estas calderas trabajan, casi siempre, con tiro forzado, el cual se consigue mediante un chorro de vapor de la misma caldera o utilizando vapor de escape de la máquina.
- ✓ Pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso, se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones del agua. En el caso de las calderas de vapor poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm sobre los tubos superiores. (López, 2013)

#### **2.1.4. Caldera acuotubulares.**

En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se encuentran en contacto con las caras exteriores de ellos. Son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares como se muestra en la figura 4 son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

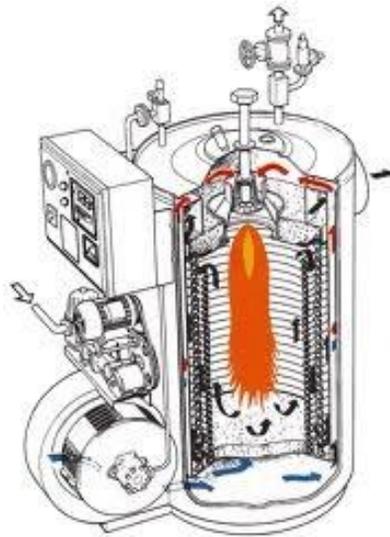


Figura 4. Caldera acutubular.

Fuente: (López, 2013)

## DEFINICIÓN GENERADORES DE VAPOR.

A la combinación de una caldera y un sobre calentador se le conoce como generador de vapor; el generador de vapor como se muestra en la figura 5 es el conjunto o sistema formado por una caldera y sus accesorios, destinados a transformar un líquido en vapor, a temperatura y presión diferente al de la atmosfera. (Absorsistem, 2009)

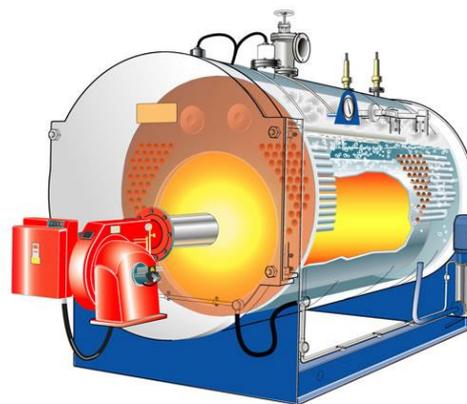


Figura 5 Generador de vapor.

Fuente: (Absorsistem, 2009)

### 2.1.5. Clasificación.

Los generadores de vapor se clasifican según los criterios enumerados a continuación:

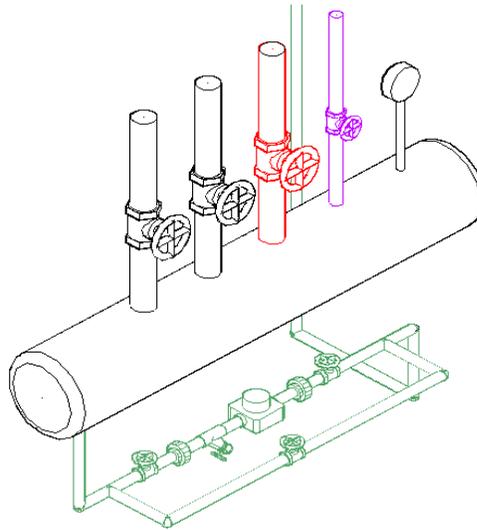
- **Disposición de los fluidos:** de tubos de agua (acuotubulares) o de tubos de humos (pirotubulares).
- **Circulación de los fluidos:** de circulación natural, de circulación asistida y de circulación forzada.
- **Transmisión del calor:** de convección, de radiación o de radiación y convección.
- **Combustible:** de carbón (parrilla mecánica o carbón pulverizado), de combustibles líquidos, de combustibles gaseosos, de combustibles especiales (licor negro, bagazo, desperdicios de madera, etc.) y de recuperación de calor de gases (con o sin combustión adicional).
- **Presión de trabajo:** subcríticos (de baja presión, de media presión, de alta presión) o supercríticos.
- **Tiro:** de hogar presurizado o de hogar equilibrado.
- **Sistemas de apoyo:** generadores apoyados o generadores suspendidos.
- **Lugar de montaje:** montados en taller o montados in situ.
- **Implantación:** terrestres o marítimos.
- **Ubicación:** intemperie, semiautomáticos o de operación manual.  
(Estrucplan, 2011)

## 2.2. DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.

### 2.2.1. Sistemas distribuidores y recolectores de vapor.

Los sistemas de distribución de vapor conectan a las calderas con el equipo que utiliza vapor. Estos sistemas de distribución transportan el vapor

hasta cualquier sitio en la planta donde se necesita energía calorífica. En la figura 6 se muestra a estructura básica de un distribuidor de vapor.



**Figura 6. Distribuidor de vapor.**

**Fuente: (Cabrera, 2012)**

Los tres componentes principales de un sistema de distribución de vapor son:

- Los cabezales( Distribuidores de vapor )
- Las tuberías principales
- Los ramales de vapor

Cada componente cumple con ciertas funciones específicas en un sistema de vapor y junto con los separadores y las trampas de vapor contribuyen al uso eficiente del vapor. (Cabrera, 2012)

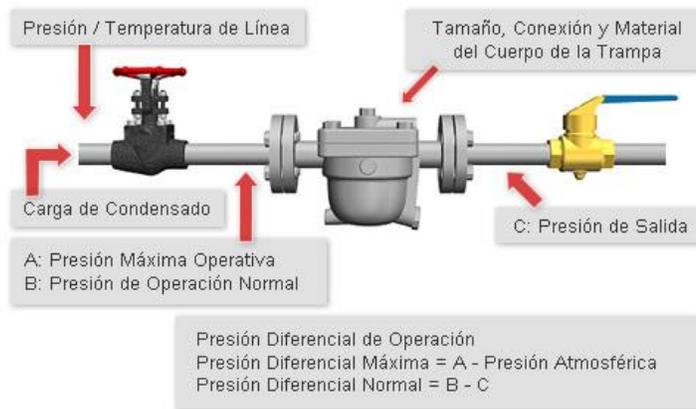
### **2.2.2. Cabezales de vapor.**

Es la tubería principal que está constituida, por el cabezal de distribución de vapor, que recibe el vapor de la caldera principal.

Lo más común es que sea una tubería horizontal a la que se le alimenta el vapor por la parte superior, y al mismo tiempo se alimentan las tuberías principales de distribución mostrada en la figura 6.

Es importante trampear el cabezal de forma correcta para asegurarse que cualquier sustancia indeseable (agua de la caldera y/o partículas) sea removida del vapor antes de su distribución.

Las trampas de vapor como se muestra en la figura 7 que le dan servicio al cabezal deben ser capaces de descargar grandes cantidades de condensado y partículas en forma instantánea. La resistencia al impacto hidráulico debe ser otro factor importante al seleccionar el tipo de trampa. (Cabrera, 2012)



**Figura 7. Funcionamiento trampa de vapor.**

**Fuente: (Cabrera, 2012)**

### 2.2.3. Tuberías principales de vapor.

La red de distribución de vapor, junto con las reguladoras de presión y temperatura, constituye la parte central de una instalación para la generación de vapor; es la encargada precisamente de conducir el vapor generado en la caldera hacia los diferentes puntos de demanda existentes en el proceso industrial como se muestra en la figura 8. (Cabrera, 2012)

### 2.2.4. Ramales de vapor.

Los ramales son las tuberías que salen de las tuberías principales de vapor y llevan el vapor hacia el equipo que lo utiliza. El sistema completo debe ser diseñado y conectado de forma que se evite la acumulación de condensado en cualquier punto del sistema.

Todas las tomas de tuberías de vapor como se muestra en la figura 8 deben ser por la parte superior, debido a que si es tomado por la parte inferior o lateral lo que se va a tomar es vapor y condensado depositado en la parte inferior de la tubería. (Cabrera, 2012)

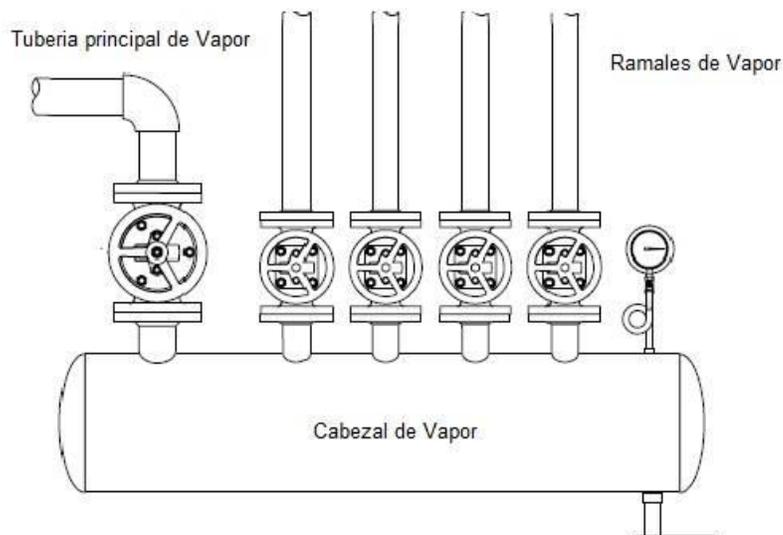


Figura 8. Distribuidor de vapor.

Fuente: (Cabrera, 2012)

## 2.3. SENSOR DE TEMPERATURA RTD.

### Sensor RTD.

Es un sensor de temperatura el cual es muy común en la industria en general, para poder entender que son y cómo funciona, es necesario primero entender que son los RTDs.

El RTD por si siglas en inglés Resistance Temperature Detector es un termo resistencia la cual incremente el valor de la resistencia cuando incrementa la temperatura, existen diferentes materiales con los que se fabrican como el Cobre (Cu), Níquel (Ni) y el más común Platino (Pt).

El **Pt100** es un RTD el cual está hecho de platino (**Pt**) y **100** significa que nos da 100Ω a 0°C.

### **RTD 2 Hilos.**

Los investigadores a lo largo del tiempo concluyeron que el sensor de 2 hilos se puede ocupar hasta 5 metros y el grado de error que genera el control de temperatura lo contempla.

### **Clases de RTDS.**

La clase de sensor se refiere a la precisión del mismo, la clase “B” es la común, la que normalmente se utiliza, mientras que la clase “A” se utiliza en procesos donde requieren lecturas más exactas,

Clase “B”:  $\pm 0.30$  (en rangos de -200 a 850°)

Clase “A”:  $\pm 0.15$  (en rangos de -50 a 600°)

#### **2.3.1. Sensor de temperatura PT100.**

Este elemento permite determinar el nivel térmico de un cuerpo y la medida de temperatura presupone un intercambio de calor entre el cuerpo a medir y el transductor, se fundamenta principalmente en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura, esta variación lineal intrínseca puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$R_t = R_o(1 + \alpha(T - T_o))$$

Donde  $R_0$  es la resistencia a la temperatura de referencia  $T_0$ ,  $\alpha$  es el coeficiente de temperatura del metal como el platino, cobre y níquel, al analizar la tabla el platino es el que ofrece un margen lineal más amplio con una sensibilidad aceptable y una elevada precisión y exactitud.

	Coef (a)	Alcance	Exactitud	$R_{100}/R_0$	Precio	$R_0$
Pt	0.00385	-200 a +850°C	0.01 °C	1.385	Alto	100
Ni	0.00672	-150 a +300° C	0.5 °C	1.672	Medio	120
Cu	0.00425	-200 a +120° C	0.1 °C	1.425	Bajo	10

Figura 9. Características RTD según materiales.

Fuente: (users.salleurl.edu)

## 2.4. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ELECTRÓNICA.

### 2.4.1. Puente de Wheatstone.

El método más empleado para medir pequeños cambios de resistencia consiste dos divisores de tensión en paralelo, uno de los cuales contiene el transductor de temperatura. Si se diseña de forma que en reposo ambos divisores den la misma tensión ( $E_0 = 0$  V), sólo hará falta medir la diferencia de tensión entre las salidas para obtener una señal que dependerá de la variable a medir. Esta estructura se conoce como **puente de Wheatstone**, la cual, además de esta propiedad fundamental, permite aumentar la sensibilidad del sistema a base de situar diversos transductores en los brazos pertinentes.

(users.salleurl.edu)

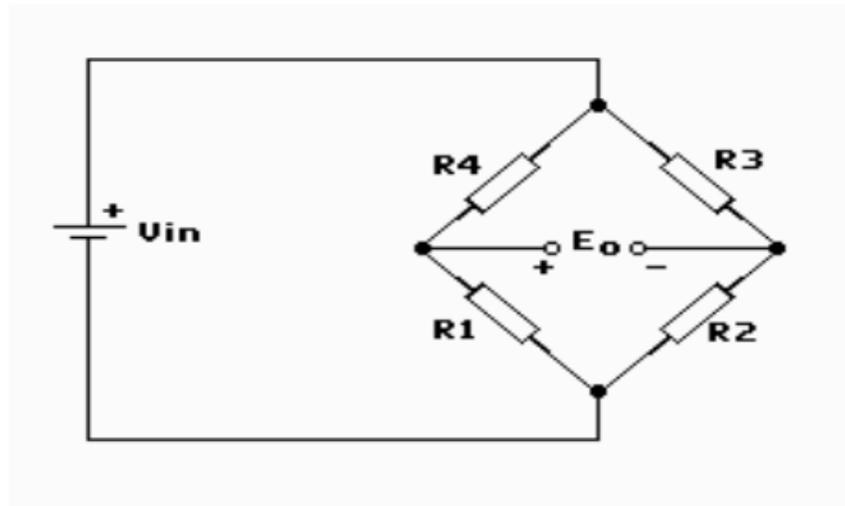


Figura 10. Puente de Wheastone.

Fuente: (users.salleurl.edu)

## 2.5. TABLERO ELÉCTRICO.

Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico. La fabricación o ensamblaje de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados.

Los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, se instalan por lo general en tableros eléctricos, teniendo una referencia de conexión. (Rodríguez, 2012)

- Esquema unifilar
- Esquema de fuerza
- Esquema de control
- Esquema de interconexiones.

### 2.5.1. Tablero de comando (T. COM.):

Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar en forma simultanea sobre artefactos individuales o grupos de artefactos pertenecientes a un mismo circuito como se muestra en la figura 11. (Rodriguez, 2012)



Figura 11. Tablero de mando.

Fuente: (Rodriguez, 2012)

### 2.5.2. Tableros de control (T. C.).

El tablero de control (T.C.) como se muestra en la figura 12, es una herramienta de diagnóstico y monitoreo permanente de determinados indicadores e información, ha sido y es la base para mantener un buen control de situación en muchas de las disciplinas de la vida. (Rodriguez, 2012)



Figura 12. Tablero de control.

Fuente: (Rodríguez, 2012)

### 2.5.3. Unidades de mando y señalización.

- La comunicación entre hombre y máquina agrupa todas las funciones que necesita el operador para controlar y vigilar el funcionamiento de un proceso.
- El operador debe estar capacitado para que pueda percibir y comprender los sucesos y responder de una manera eficaz, a la solución de un determinado imprevisto.



Figura 13. Mando y Señalización.

Fuente: (Rodríguez, 2012)

- **Norma IEC 60204-1.**

Establece el código de colores para los visualizadores y pilotos, por ejemplo:

- ✓ Piloto verde: Condición normal de funcionamiento.
- ✓ Piloto rojo: Emergencia – condición peligrosa que requiere una acción inmediata ( presión fuera de los limites, sobre recorrido, rotura de acoplamiento, etc);
- ✓ Piloto amarillo: Anormal – condición anormal que puede llevar a una situación peligrosa (presión fuera de los limites, activación de una protección.)

- ✓ Piloto blanco: Neutro- información general (presencia de tensión de red);
- ✓ Pulsador rojo: Emergencia- acción de caso de peligro (para emergencia);
- ✓ Pulsador amarillo: Anormal –acción en caso de condiciones anormales.  
(Rodríguez, 2012)

## 2.6. TÉCNICAS DE CONTROL EN PROCESOS INDUSTRIALES.

En el mundo industrial existen algunos tipos de técnicas de control utilizadas sobre los actuadores para controlar un proceso y éstas técnicas dependen directamente del comportamiento de las variables que se desean controlar. Es sabido que un 70% del control en las industrias utiliza el control ON/OFF para las aplicaciones. Muchas veces la solución más simple es la más adecuada ante un gran problema de control (R.A.Española, 2012).

Otras técnicas que son también conocidas y utilizadas, así mismo, más complejas, son el control Proporcional (P), Proporcional Integral (PI), Proporcional Integral Derivativo (PID).

El control proporcional (P) se basa en una ganancia y el comportamiento que presenta es que si el valor a controlar se encuentra cerca del set point, la señal de control es pequeña en valor y si el valor del set point está lejano al valor se la señal, la señal de control es grande, se requiere un control inverso. El control Proporcional Integral (PI) la acción integral ayuda a que el error en estado estacionario en un proceso sea cero, a mayor error, la señal de control va a ser mayor. Aproximadamente el 22% de los procesos reales en las industrias están controladas con una acción Proporcional Integral (PI) (Swagelok, 2014), en esta acción de control se debe cuidar el reajuste excesivo. Por último en el control Proporcional Integral Derivativo (PID), la acción derivativa realiza una acción predictiva y evita que se dispare la señal de control, de esta forma se logra mayor control sobre el error, haciéndole tender a cero. En un PID si la señal de error cambia muy rápido la señal de

control es grande para controlar ese cambio rápido; es aplicable a procesos lentos y el reajuste excesivo no es un problema en esta técnica. (Durana, 2004)

Siete (7) de cada diez (10) máquinas industriales utilizan control ON/OFF y presenta algunas ventajas como: simplicidad, bajos costos, robustez y fácil mantenimiento. Para evitar el daño en actuadores la mayoría de aplicaciones utilizan un control ON/OFF con histéresis para poseer un mayor rango en el control. (Abarca, 2008)

## **2.7. INTERFAZ HUMANO MÁQUINA - HMI**

### **2.7.1. Introducción.**

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas, como mostraremos a continuación. (Cobo, 2010)

### **2.7.2. Tipos De HMI.**

- **Terminal de operador.**



Figura 14. Panel táctil HMI.

Fuente: (Cobo, 2010)

Consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen) como se muestra en la figura 14. (Cobo, 2010)

- **PC + software.**

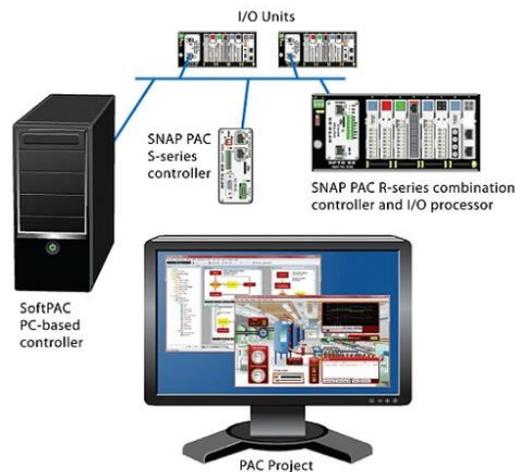


Figura 15. Monitoreo HMI.

Fuente: (Cobo, 2010)

Esta constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados HMI's Industriales

(para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador.

## CAPÍTULO III

### 3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.

#### 3.1. LEVANTAMIENTO DE DIAGRAMAS.

En un sistema de generación y distribución de vapor existen 5 partes principales que son el ingreso del químico para realizar la combustión, la generación de vapor, la distribución del mismo, el consumo o uso de vapor y el retorno de condensado, mostrado en la figura 16. (Honeywell)



Figura 16. Proceso de generación y distribución de vapor.

Fuente: (Borroto, 2015)

El sistema de generación y distribución de vapor que posee Nova clínica Santa Cecilia S.A consta de 5 partes:

#### 3.1.1. Sistema de reserva de diésel.

Esta sección consta de un tanque de almacenamiento principal y un tanque de almacenamiento secundario, el diagrama básico de instrumentación

se muestra en la figura 17. El tanque de combustible Diésel principal situado en la parte exterior del cuarto de máquinas tiene una capacidad de 1000 galones, el cual posee un indicador de nivel y válvulas de accionamiento manual y de emergencia, dentro del cuarto del sistema de distribución de vapor se encuentra un tanque de capacidad de 50 galones el cual es alimentado de diésel por el tanque principal que se encuentra empotrado exteriormente.

El tanque secundario situado dentro del cuarto del sistema de generación y distribución de vapor consta de un indicador y controlador mecánico de nivel a través de un flotador, el cual si el nivel de diésel comienza a bajar, acciona una válvula para que desde el tanque de reserva principal alimente de diésel al tanque secundario que se encuentra dentro del cuarto de control como se muestra en la figura 18.

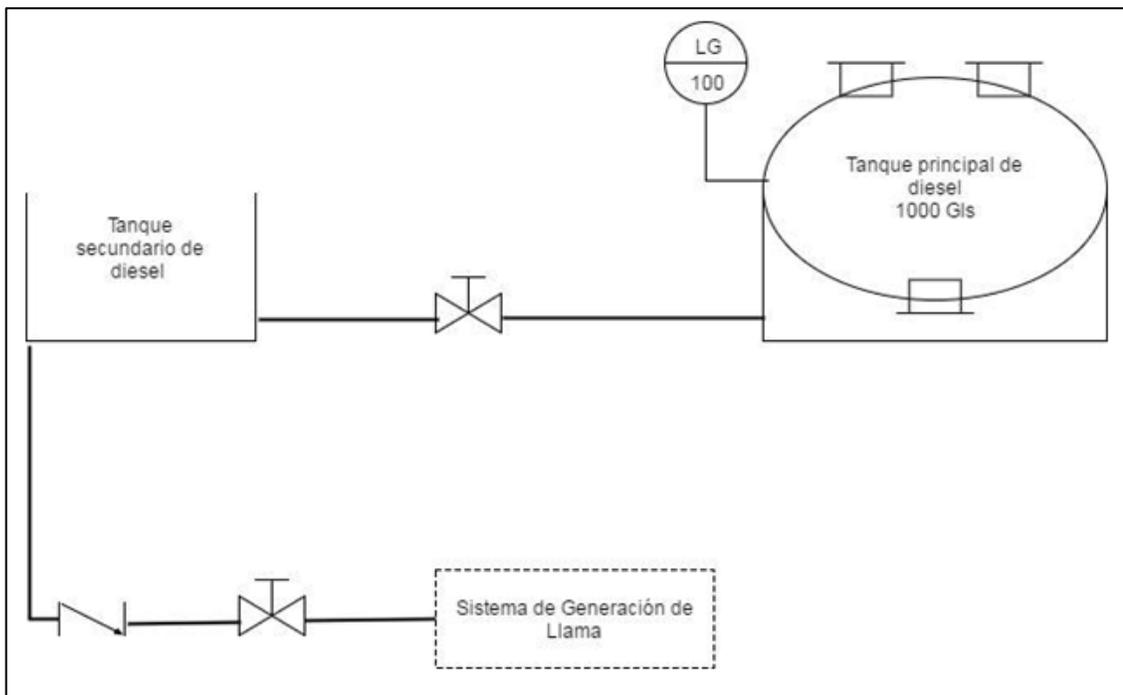


Figura 17. Sistema de reserva de diésel.



Figura 18. Tanque primario y secundario de diesel.

### 3.1.2. Sistema de generación de llama.

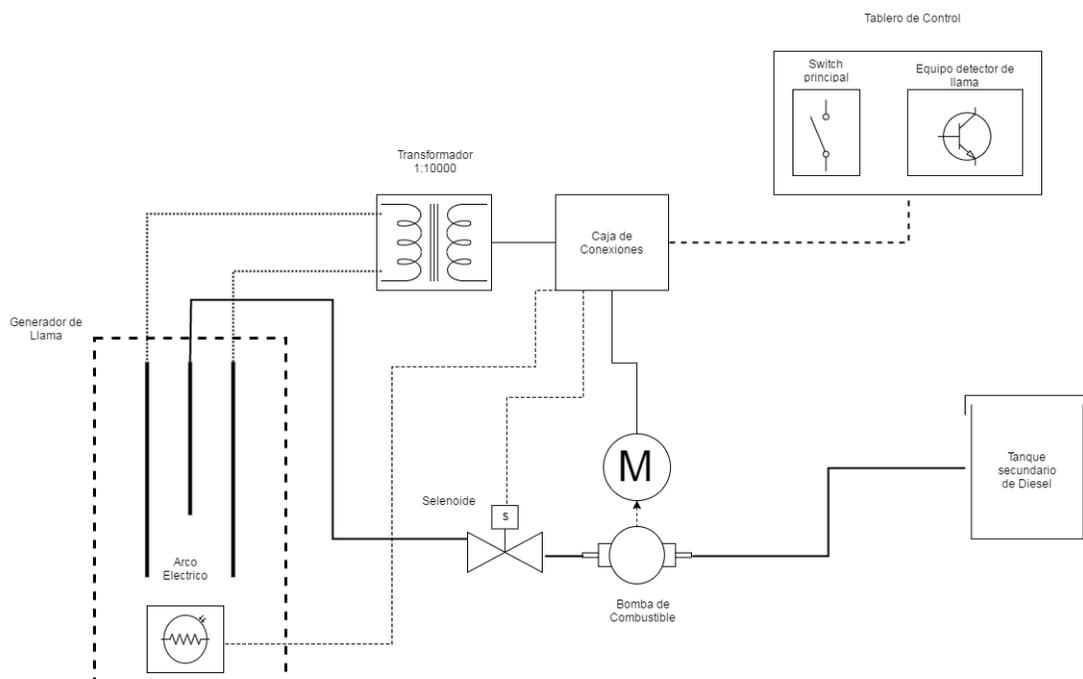


Figura 19. Sistema de generación de llama.

Este sistema se subdivide en:

- **Ingreso de combustible diésel hacia el quemador.**
- **Generación de Arco Eléctrico**
- **Control de llama.**

- **Ingreso de combustible diésel hacia el quemador.**

En esta sección el diésel ingresa a la bomba de combustible mediante un serpentín (reducción de presión), la bomba de combustible se activa con el movimiento del ventilador de un motor eléctrico mediante un acople mecánico como se lo muestra en la figura 19. La activación de un contacto mediante el switch principal (S1) permite que se active la solenoide la cual permite el paso del combustible desde la bomba de combustible hacia el generador de llama que se encuentra dentro del caldero, el combustible entra por la parte de la mitad del generador de llama ya que espera que se genere el arco eléctrico en los costados para realizar la combustión.

- **Generación de arco eléctrico.**

El sistema de generación de llama posee un transformador de 110 a 10000 VAC como se muestra en la figura 20 el cual se activa mediante el switch principal (S1) y permanece encendido por un tiempo limitado de 3 minutos, el cual es controlado mediante un Temporizador mecánico. El transformador está conectado a los extremos del generador de llama mediante unos electrodos para que de esta manera se genere un arco eléctrico que hará contacto con el combustible que llega desde el solenoide.

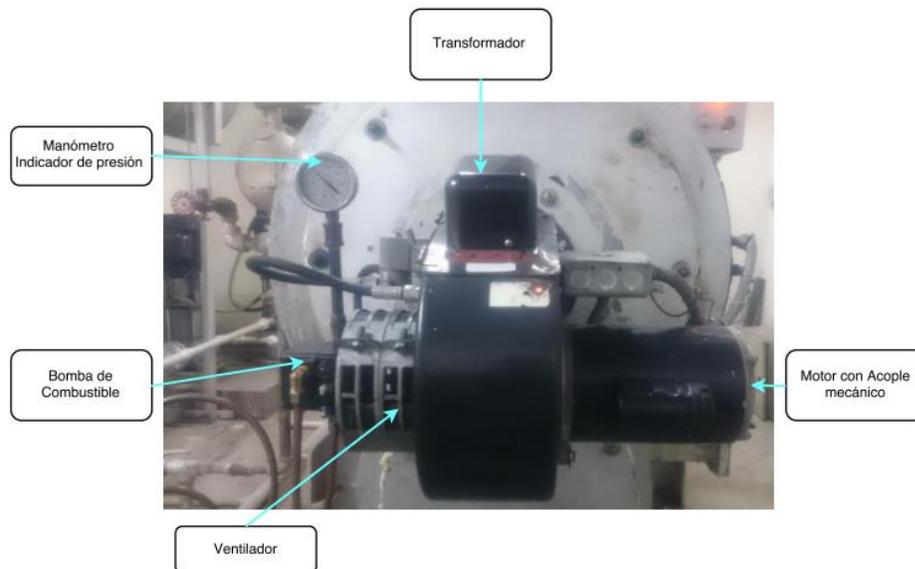


Figura 20. Quemador de caldera NOVA CLÍNICA.

- **Control de llama**

El sistema de control de llama tiene como objetivo desactivar el sistema de generación de vapor en caso de que **no** se detecte combustión dentro del caldero. El control de llama es un control on-off y está compuesto de dos partes principales, célula fotoeléctrica y equipo detector de llama.

Mediante una célula fotoeléctrica como se muestra en la figura 21, la cual manda la señal de presencia de llama dentro del caldero hace que el equipo detector de llama no se active y así el sistema de distribución de vapor funcione normalmente. En caso de no producirse llama dentro del quemador, la célula fotoeléctrica no mandará ninguna señal de presencia de llama y así el equipo detector de llama actuara de manera que corte la alimentación eléctrica del sistema, evitando así que los equipos como el transformador para el arco eléctrico o la bomba de combustible sigan funcionando y de esta manera protegiendo a todo el sistema de generación de vapor.

El lente de la célula fotoeléctrica debe mantenerse limpio ya que la formación de hollín o polvo producirá una falsa información a la misma con la consiguiente inestabilidad de operación.

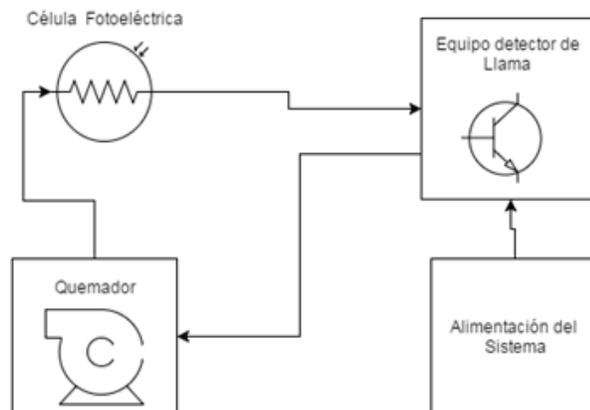


Figura 21. Sistema de control de llama.

El generador de llama posee una fotocelda la cual manda una señal electrónica al control de llama Honeywell RB184 como se muestra en la figura 22, que se encuentra en el tablero de mando el cual tiene como función desconectar todo el sistema eléctrico y apagar el caldero si en un tiempo establecido que en este caso es de 15 segundos no se ha generado el fogón dentro del caldero.

Estos controles de ignición intermitente operan los quemadores, las válvulas solenoides y el transformador de ignición.

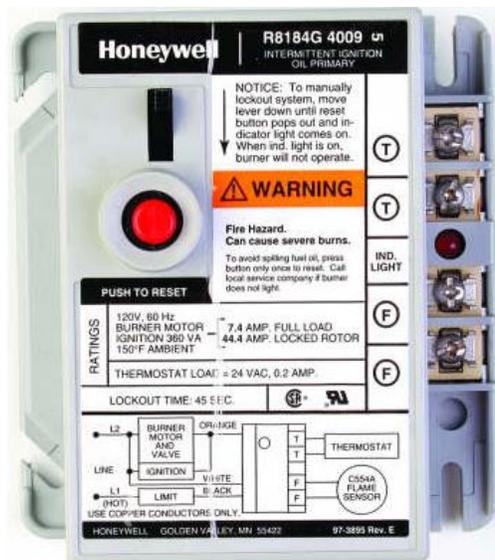


Figura 22. . Controlador de llama Honeywell (Honeywell).

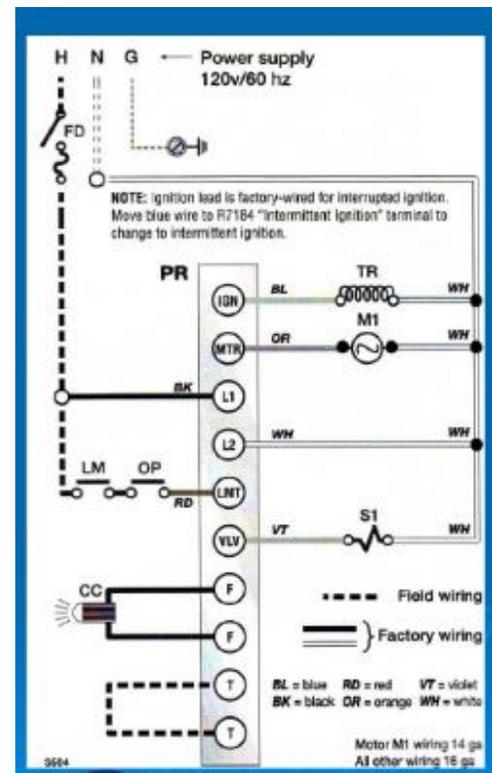


Figura 23. Esquema de conexiones Controlador Honeywell.

- FD: Fusibles o desconexión (por otro lado,
- LM: Control Limite (Presuretroles)
- OP: Control de Operación (switch ON/OFF)
- PR Control Primario típico R7184
- CC Sensor de Llama típica CADMIO

- TR Transformador de Ignición
- M1 Motor del quemador
- S1 Válvula solenoide Diesel
- T-T Termostato 24 volt/ terminal limite
- F-F Terminales para Celda de Cadmio

### 3.1.3. Sistema de generación de vapor.

El sistema de generación de vapor está comprendido principalmente por el caldero, el cual tiene como entradas la alimentación de las bombas eléctricas que suministran el agua tratada que llega del ablandador y que a su vez mediante el generador de llama, comienza a crear vapor en su interior para luego este vapor ser enviado al distribuidor, posee un manómetro principal en el cual se puede observar la presión con la cual el caldero está trabajando, los presuretroles empotrados en su parte superior para así controlar el encendido y apagado del caldero como ya anteriormente se mencionó (Tablero de control), una línea de desfogue para que así manualmente el operador pueda reducir la presión del caldero en el caso que se realice mantenimiento, una válvula de protección la cual tiene como fin abrirse en caso de que el caldero sobrepase los 120 psi, protegiendo así todo el sistema y salvaguardando las vidas humanas dentro de la clínica, visto en la figura 24.

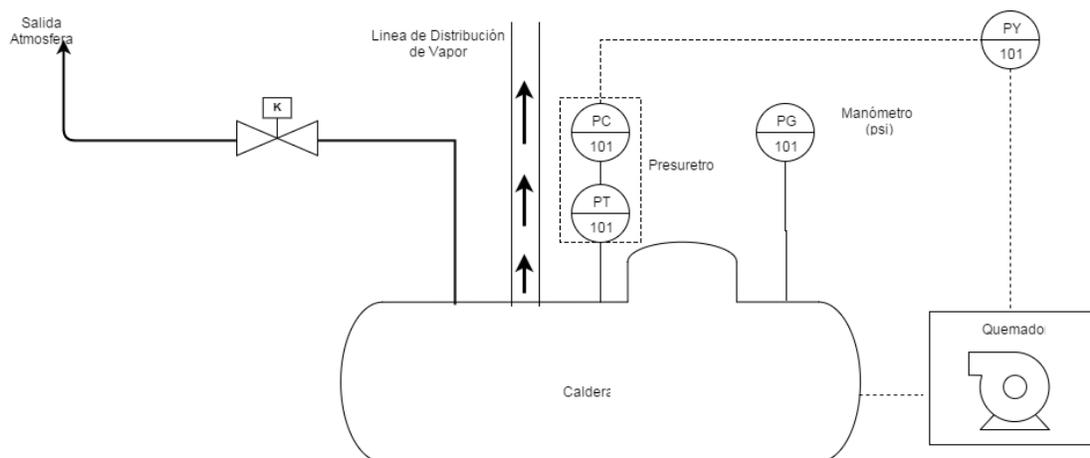


Figura 24. Sistema de generación de vapor.

Uno de los aspectos más importantes dentro del sistema de generación de vapor es la alimentación de agua que llega desde el ablandador hacia la cisterna del cuarto de control y a su vez las bombas de agua envían el agua ablandada hacia el caldero, todo este proceso se activa mediante el control electromecánico que posee el caldero el cual es llamado McDonnell & Miller el cual mediante un indicador de nivel de agua y un sistema de control de relés activan las bombas para que así el caldero no se quede sin agua dentro de su sistema.

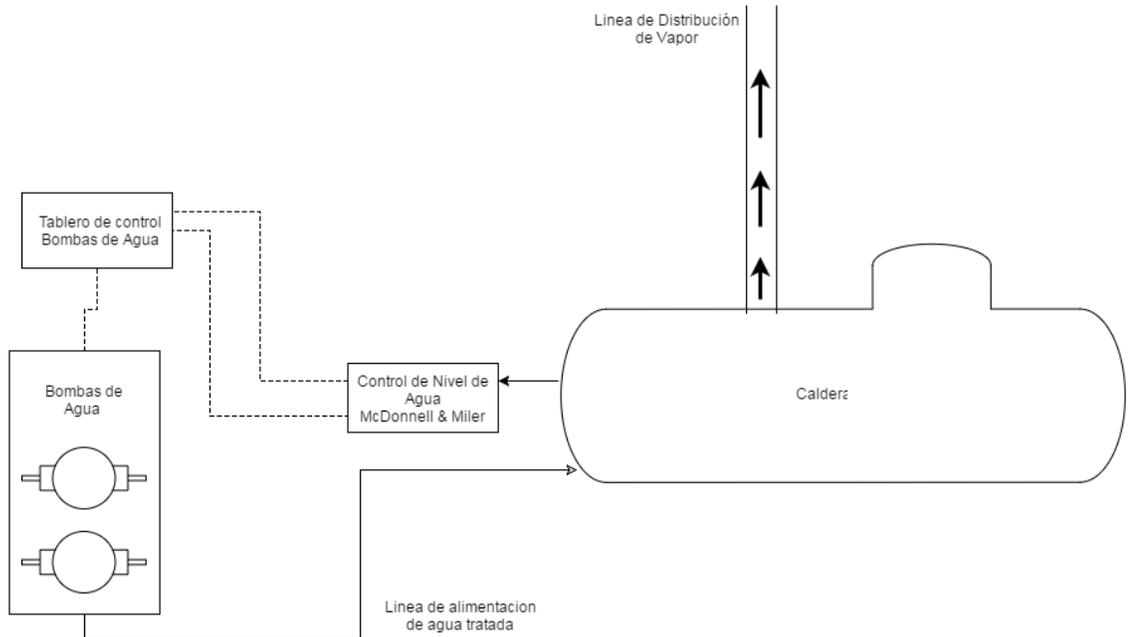


Figura 25. Caldera de NOVACLINICA.

- **Control de nivel de agua.**

Este sistema se encarga de que siempre exista presencia de agua en la caldera, manteniendo de esta forma un nivel adecuado de operación. El sistema más utilizado es el de bomba centrífuga (calderas de baja presión) o bomba de pistón de desplazamiento positivo (calderas de mediana y alta presión).

Debe existir dos sistemas independientes de agua de alimentación cada uno de capacidad dos veces la de la caldera. El funcionamiento del sistema de alimentación está controlado por los reguladores automáticos de nivel, entre los cuales los más utilizados son el tipo flotante (Series McDonnell & Miller). (VAPENSA, 2015)



**Figura 26. Control de nivel de agua en la caldera.**

En el tipo flotante, cuando el nivel es bajo acciona un interruptor de mercurio se pone en funcionamiento la bomba de alimentación como se muestra en la figura 26, en caso de que el nivel de agua no se recupere sino que siga bajando, el flotador acciona un segundo interruptor para apagar la caldera por bajo nivel.

- **Controlador de nivel de agua series 157 Mcdonnell & Miller.**

El control de corte por bajo nivel de agua de tipo flotador de la serie 157 está diseñado para aplicaciones de las calderas de hasta 150 psi.

Las aplicaciones para las cuales es utilizado son las siguientes:

- Controlador de la bomba primaria de abastecimiento de agua.
- Corte por bajo nivel de agua.

Al remover la tapa superior del McDonnell & Miller se tiene el sensor compuesto de dos bulbos de vidrio templado en cuyo interior tienen mercurio. (Repositorio Digital EPN, 2006)

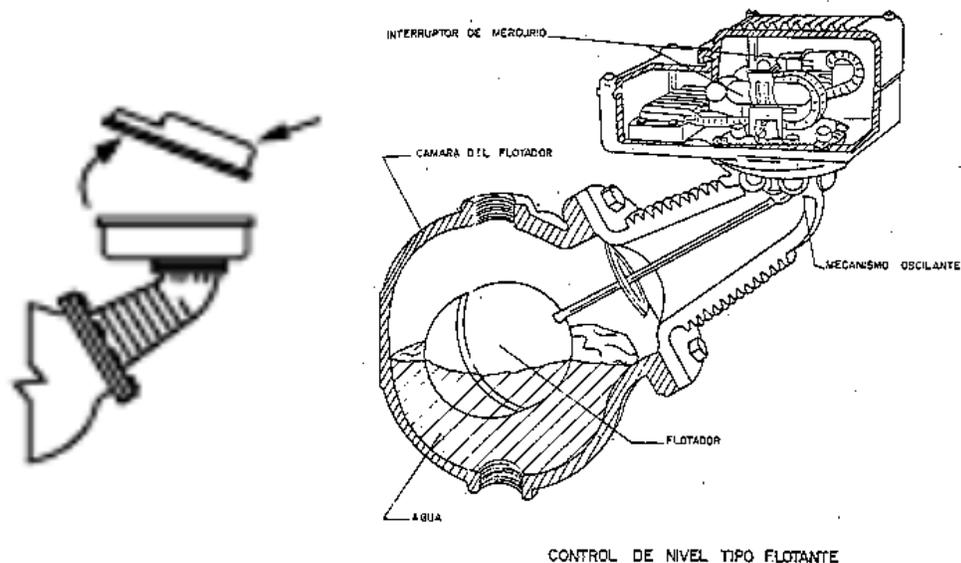


Figura 27. Controlador de nivel de agua McDonnell & Miller

Fuente: (Repositorio Digital EPN, 2006)

El funcionamiento consiste en que el bulbo tiene un movimiento de sube y baja este movimiento es gobernado por una boya en el interior del cuerpo metálico del McDonnell & Miller como se muestra en la figura 27, que detecta los cambios de nivel de agua. (Repositorio Digital EPN, 2006)

Cuando el bulbo se mueve el mercurio circula de un extremo al otro cortocircuitando dos terminales, de los cuales salen dos alambres que posteriormente irán conectados a la bornera y permite el encendido de la bomba de agua.

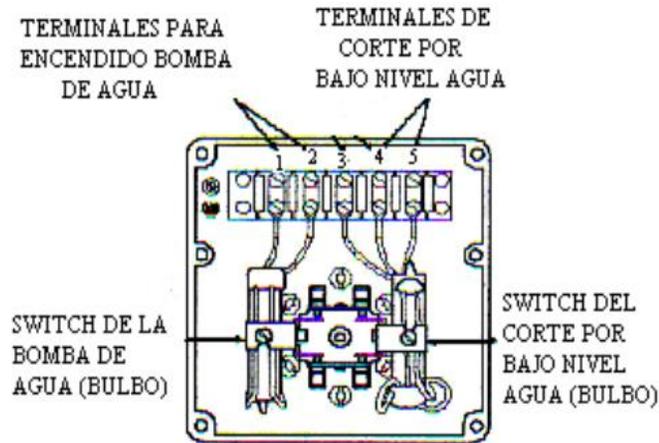


Figura 28. Conexiones de McDonnell & Miller.

Fuente: (Repositorio Digital EPN, 2006)

El funcionamiento del segundo bulbo en cuyo interior están los contactos como se muestra en la figura 28, que corresponden a los terminales de corte por bajo nivel de agua es similar, con la diferencia que el bulbo de arranque de la bomba de agua actúa primero que el bulbo que da la señal de bajo nivel de agua. (Repositorio Digital EPN, 2006).

Los límites de control de nivel de agua se muestran en la figura 29 y el controlador McDonnell & Miller que posee el caladero se muestra en la figura 30.

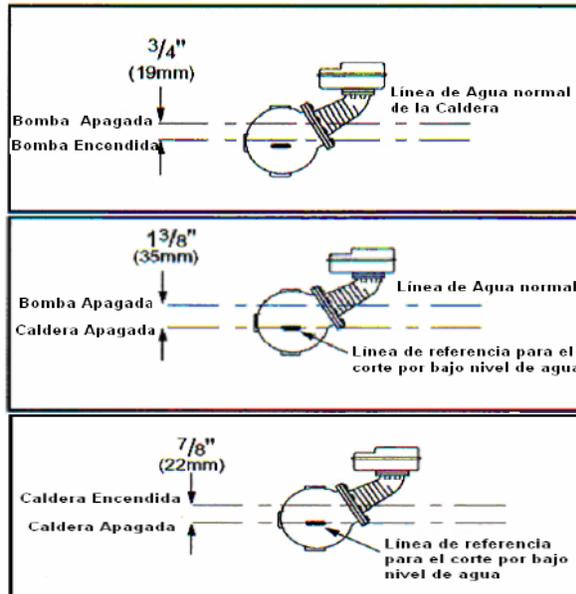


Figura 29. Estado de la caldera y accionamientos de la bomba de agua.

Fuente: (Repositorio Digital EPN, 2006)



Figura 30. McDonnell & Miller NOVA CLINICA.

- **Control de presión.**

El sistema de control de presión trabaja con 3 elementos principales: manómetros de presión, presuretroles y la válvula principal de seguridad como se lo puede ver en la figura 31.

De esta manera se forma un esquema básico de monitoreo y control, donde mediante los manómetros se puede monitorear la presión con la cual está trabajando el caldero, mediante el o los presuretroles que se encuentran colocados en el caldero se activa la señal de (on-off) para el arranque o paro del caldero. Teniendo en cuenta que siempre se debe tener un plan de contingencia en caso de que el control falle y en este caso los presuretroles que son los encargados de apagar el sistema cuando la presión ya sobrepase los 100 psi, se tiene una válvula de seguridad la cual ya viene preestablecida para que en caso de que sobrepase los 110 psi como se muestra en la figura dicha válvula se abra y deje escapar el vapor del caldero, evitando así explosiones y pérdida total del sistema.

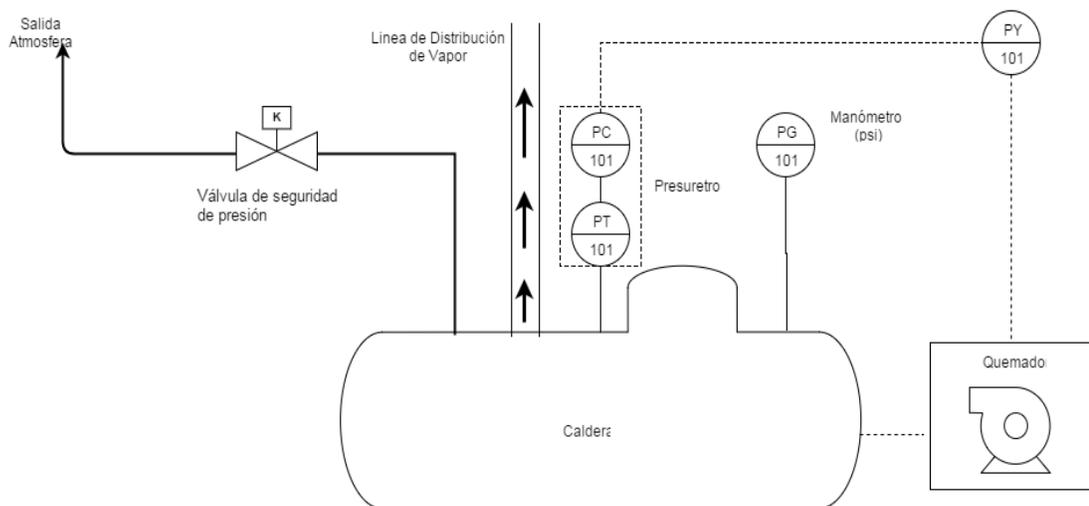


Figura 31. Control de presión en caldera.

Generalmente en los calderos de Vapor, la presión del vapor de salida es la variable controlada. Esta actúa directamente sobre la operación del mecanismo

que proporciona la energía, accionando dispositivos de parada o arranque dependiendo si la presiones de operación han sido o no satisfechas

El controlador de presión puede ser un presostato del tipo proporcional o proporcional más flotación reset, y si no se podría optar por un sensor de presión. En el caso de que el caldero opere a presiones bajas y tenga una capacidad de almacenamiento considerable de agua y vapor podría emplearse uno de posición proporcional, en este controlador el movimiento es directamente proporcional al cambio de presión (entre los limites alto y bajo). Un controlador proporcional más flotación se utiliza en calderos de presión alta y una pequeña capacidad. Estos dispositivos están compuestos por un diafragma, un mecanismo de transmisión de movimiento y contactos eléctricos que pueden ser platinos o bulbos de mercurio. El diafragma es un elemento que censa la presión y produce una deformación que se escala y se transmite por un resorte o un mecanismo de barras al elemento que produce el contacto eléctrico. (Roberto Proaño, 2012)

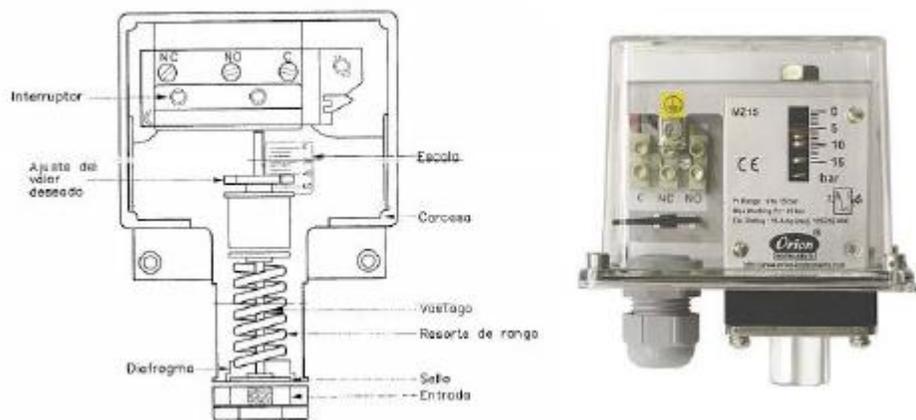


Figura 32. Controlador de Presión.

Fuente: (Roberto Proaño, 2012)

Los presostatos o presuretroles como se muestra en la figura 32, tienen puntos definidos para conectar (cut in) y desconectar (cut out), están ajustados para iniciar su acción cuando la presión se reduce a un valor mínimo

preestablecido en el control y termina su acción cuando la presión aumenta hasta un valor máximo determinado. La diferencia de valores de conexión y desconexión se lo conoce como diferencial y depende en cada caso de caldera.

Adicionalmente posee un rango el cual está asociado a conectar y desconectar por ejemplo si el sistema esta calibrado para conectarse a una presión de 70 psi y desconectarse a 90 psi , el diferencial seria 20 psi(90 psi- 70 psi) y el rango seria entre 70 a 90 psi.

Por condiciones y normativas junto con los presostatos se debe considerar manómetros y válvulas de seguridad calculadas según la capacidad de generación de vapor del caldero y dimensionadas para permitir un rápido desfogue de presiones en situaciones críticas de superar los límites permitidos. (Roberto Proaño, 2012)

- **CUT IN:** Escala para ajustar el accionamiento o puesta en marcha de un actuador y se activa cuando la presión sube por encima del valor ajustado en CUTIN.
- **DIFF:** Escala para ajustar el diferencial. La presión de parada que genera señal para desactivar algún actuador.

$$\text{Presion de parada LP} = \text{CUT IN} - \text{DIFF}$$

- **CUT OUT:** Escala para ajustar la presión de parada del elemento a activar (actuador). Cuando la presión aumente por encima del valor ajustado en CUT OUT se detendrá.
- **DIFF:** El diferencial en el lado de la alta presión es fijo y tiene un valor constante dependiendo del fabricante y los requerimientos.

$$\text{Presion de arranque HP} = \text{CUT OUT} - \text{DIFF}.$$

Los presuretroles utilizados en el caldero, se muestran en la figura 33.



Figura 33. Presuretroles en Caldera Novaclinica

#### 3.1.4. Sistema de ablandamiento de agua.

Dentro del funcionamiento del sistema de generación de Vapor es indispensable el ingreso de agua ya que de esta manera existe la evaporización y a su vez la distribución de vapor hacia todo el sistema.

El sistema ablandador cumple con la función de quitar el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) del agua, que al precipitar por los cambios de temperatura, va formando capas de sarro en los tubos interiores dentro del caldero.

Un agua que no es tratada o ablandada puede hacer bajar hasta un 30% en algunos casos el rendimiento del sistema de la caldera después de un cierto período de tiempo. (OSMOVIC, 2015)

El agua dura antes de llegar a la caldera pasa por el interior del ablandador de agua que contiene un filtro de resina con carga negativa; este al combinar su sodio con el calcio y el magnesio del agua los neutraliza en un proceso llamado intercambio iónico como se muestra en la figura 34.

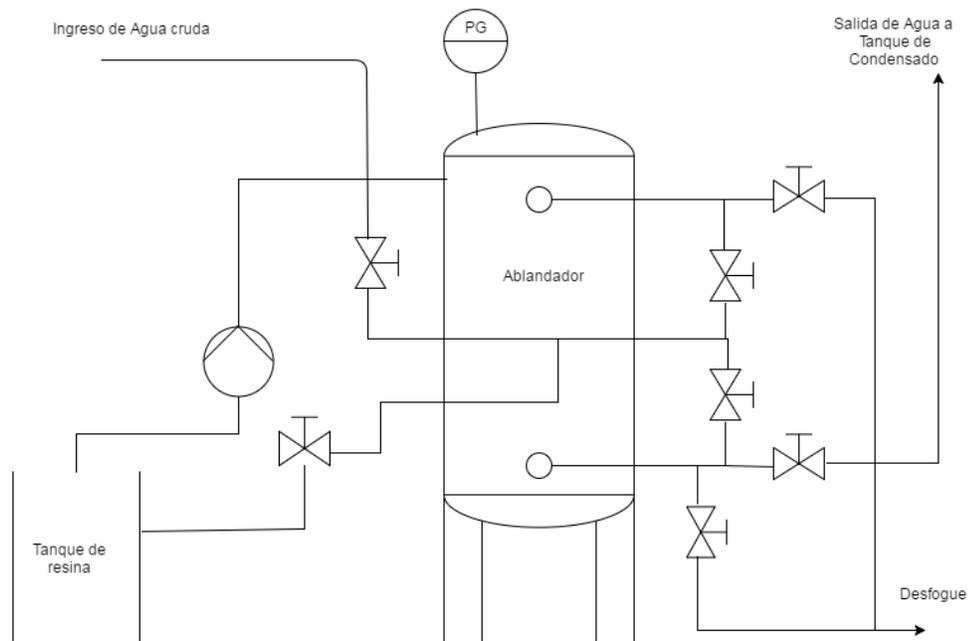


Figura 34. Sistema de ablandamiento de agua

Los ablandadores están compuestos por resinas, que poseen una capacidad de intercambio de iones de calcio y magnesio por sodio como se muestra en la figura 35.

Agua Dura	Resina	Agua Blanda
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		
Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		
CaSO <sub>4</sub>		NaHCO <sub>3</sub>
MgSO <sub>4</sub>	+ R - Na -->	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
CaCl <sub>2</sub>		NaCl
MgCl <sub>2</sub>		
NaCl		

Figura 35. Proceso ablandamiento de agua.

Luego el agua resultante, libre ahora de estos minerales, ingresa a la cañería principal para alimentar a la caldera sin generar sarro ni obstruir artefactos. En el caso de que la capacidad de entrega de agua blanda de estos equipos se vea disminuida (agua entregada con dureza mayor a 6 ppm

expresada como  $\text{CaCO}_3$ ), es necesario llevar a cabo una regeneración para recuperar la capacidad de intercambio de las resinas. (OSMOVIC, 2015)

La regeneración es realizada con sal sódica ( $\text{NaCl}$ ) de calidad técnica con una concentración de 150 a 250 gr/l de resina. Después de un tiempo, la resina del ablandador de agua pierde su capacidad de eliminar el calcio del agua y necesita regenerarse mediante la recirculación del agua en el sistema del ablandador.



Figura 36. Ablandador NOVACLINICA.

### 3.1.5. Sistema de distribución de vapor.

El sistema de distribución de vapor de Novaclínica S.A consta de un cabezal de vapor con su respectivo manómetro, la tubería principal de ingreso de vapor proveniente desde el generador de vapor y cuatro ramales de vapor como se muestra en la figura 37, los cuales se distribuyen hacia los diferentes puntos de consumo.

Las áreas de consumo son las siguientes:

- Lavandería
- Esterilizador
- Tanque 1 de Agua caliente
- Tanque 2 de Agua caliente

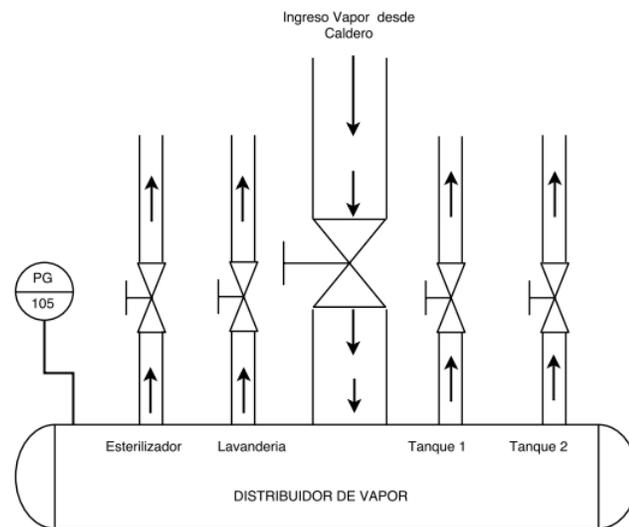


Figura 37. Esquema distribuidor de vapor NOVACLINICA.



Figura 38. Distribuidor de Vapor Novaclinica

- **Área de lavandería.**

Dentro del área de Lavandería existen seis máquinas industriales como se muestra en la figura 39, las cuales solo una secadora industrial se encuentran bajo conexiones normalizadas ya que esta máquina ha sido adquirida este año, las demás máquinas funcionan con un sistema de control on-off pero no se da al operador la facilidad de visualizar si se encuentra en un estado de consumo de vapor cada máquina, en especial con la plancha industrial, donde por conveniencia de los trabajadores la dejan prendida y el consumo de vapor aumenta.

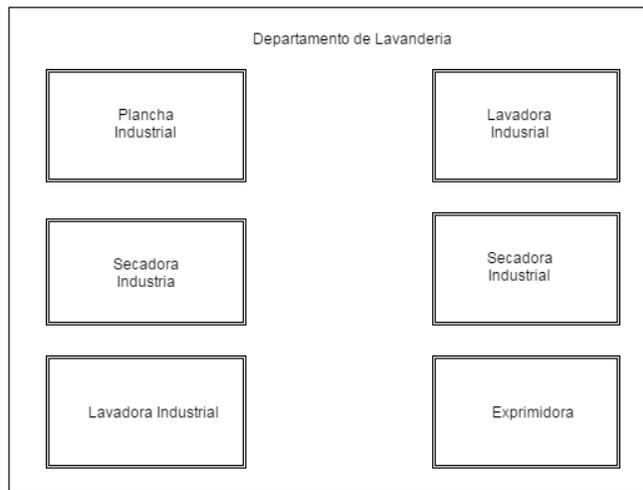


Figura 39. Esquema de máquinas lavandería

- **Área de esterilización.**

Novaclínica posee un equipo de esterilización como se muestra en la figura 40, el cual para su correcto funcionamiento requieren una presión de 40 PSI en la línea de entrada de vapor; este proceso de esterilización es de mayor prioridad que los demás procesos por lo cual cuando este equipo está funcionando y no cumple con el requerimiento de presión, el operador cierra el ingreso de vapor de otros procesos tales como el calentamiento de agua, secado o planchado, para aumentar la presión en la entrada del esterilizador hasta que el proceso de esterilización termine.



Figura 40. Esterilizador NOVA CLINICA.

- **Área de tanques de agua caliente.**

El control de agua caliente de ambos tanques se encuentra obsoleto ya que ambos controladores de temperatura se encuentran cortocircuitados para que exista una apertura de la electroválvula como se muestra en la figura 41 y así el ingreso de vapor sea continuo y solo mediante la visualización del manómetro de temperatura el operador tiene el trabajo de cerrar la válvula manual desde el distribuidor en caso de que esta temperatura sobrepase los 60 °C.

La regulación de temperatura del agua se lo realiza mediante la combinación de agua caliente y fría, mas no existe algún tipo de control que establezca una temperatura nominal a distintas horas del día.

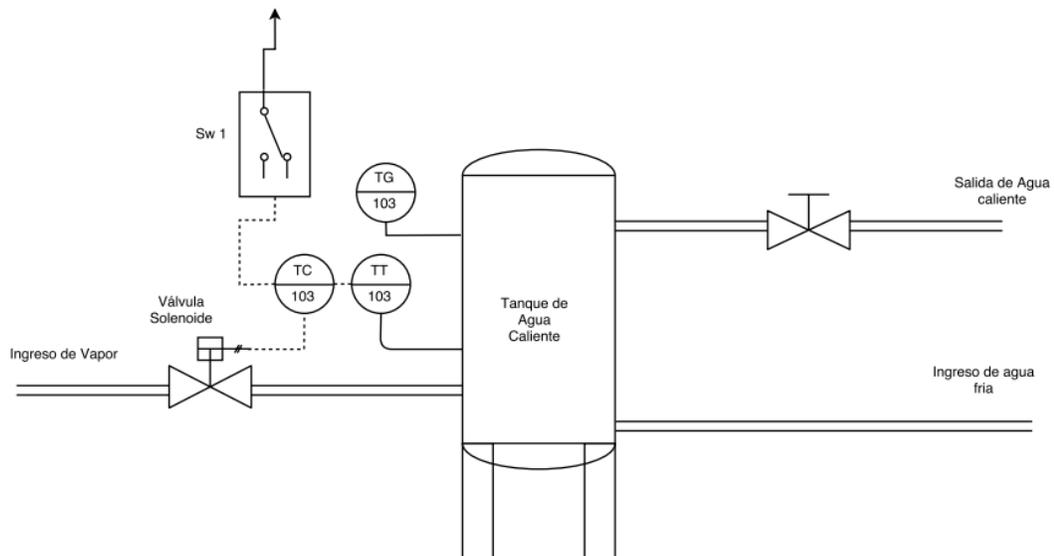


Figura 41. Esquema de tanque de agua caliente.

### 3.1.6. Sistema de retorno de condensado.

En un proceso de calentamiento, el condensado es el resultado del vapor que transfirió parte de su energía calorífica, al equipo que debe ser calentado.

La recuperación del condensado es un proceso que reutiliza el agua y el calor del condensado descargado. Recuperar el condensado, en lugar de tirarlo, conlleva ahorros significativos de energía, tratamiento químico y agua fresca.

El tanque de condensado de Novaclínica S.A posee su tubería principal de entrada de condensado como se muestra en la figura 42, una línea de purga manual, dos líneas de transferencia del agua tratada hacia la cisterna donde las bombas de agua llevan el agua hacia el caldero. El sistema de retorno de condensado solo reutiliza el agua tratada y desperdicia el vapor que entra por la tubería principal, lo cual como ya se mencionó esto es un desperdicio de energía. En la figura 43 se puede visualizar en tanque de condensado que posee Novaclínica.

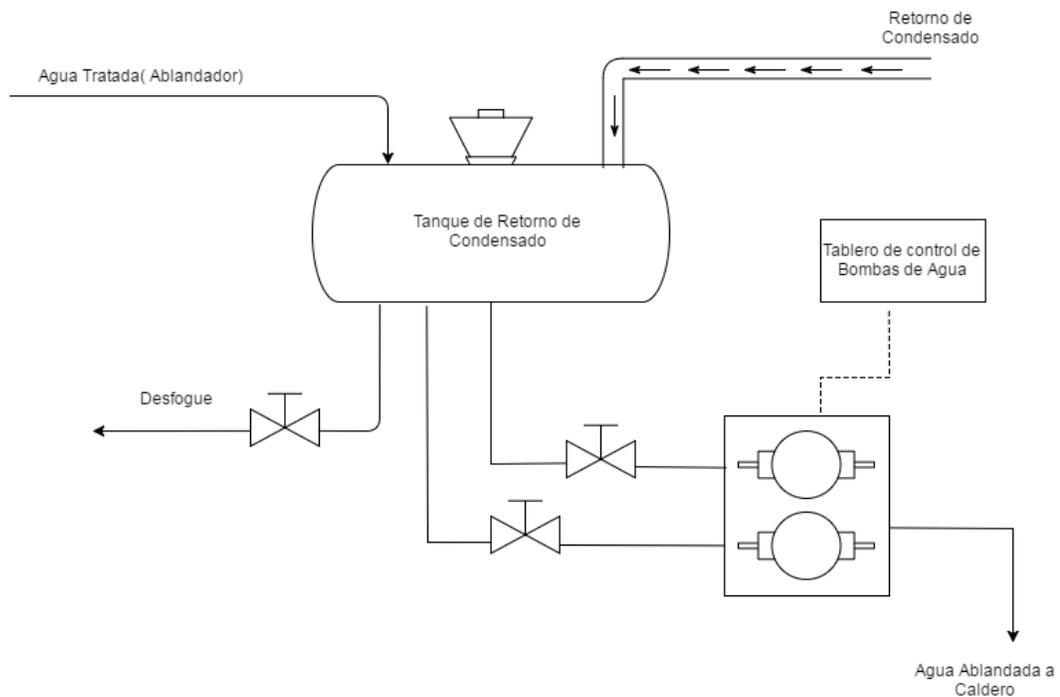


Figura 42. Sistema de retorno de condensado.



Figura 43. Tanque de condensado de NOVA CLIICA.

## 3.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

### 3.2.1. Tanque principal de diesel.

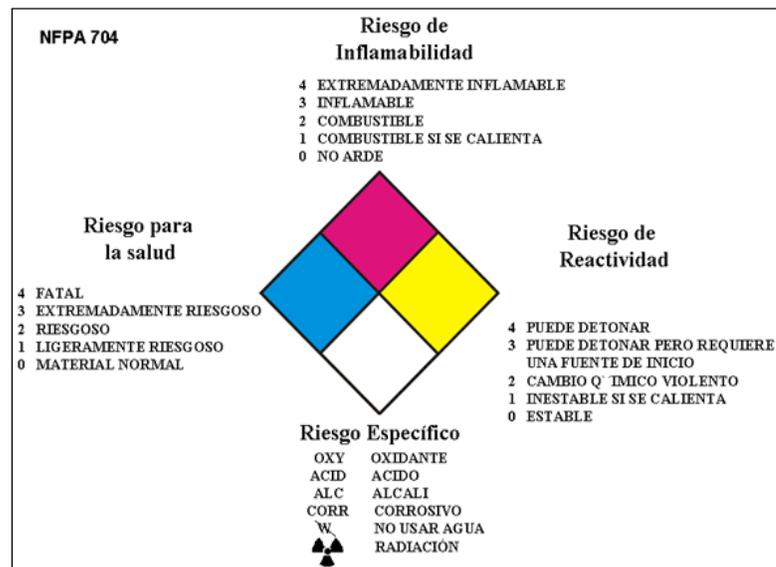


Figura 44. Identificación NFPA704.



**Tabla 1.**  
**Datos técnicos del tanque de diesel de NOVACLINICA.**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Radio	1	metros
Largo	4	metros
Riesgo de Inflamabilidad	2	Combustible
Riesgo de Reactividad	0	Estable
Riesgo para la Salud	1	Ligeramente Riesgoso
Volumen	1472	Gls.

- **Cálculo de volumen del tanque de diesel.**

$$V = A_{base} * h$$

$$V = \pi r^2 * h$$

$$V = \pi(60)^2 cm^2 * (350) cm$$

$$V = 3958406.74 cm^3$$

$$V = 1472 Gl$$

Equivalencias:

$$1 Lt = 1000 cm^3$$

$$1 Gl = 3.78 Lt$$

**Caldera:**

En la figura 45 se muestra la placa con los datos técnicos de la caldera Cyclotherm que posee Novaclinica S.A.

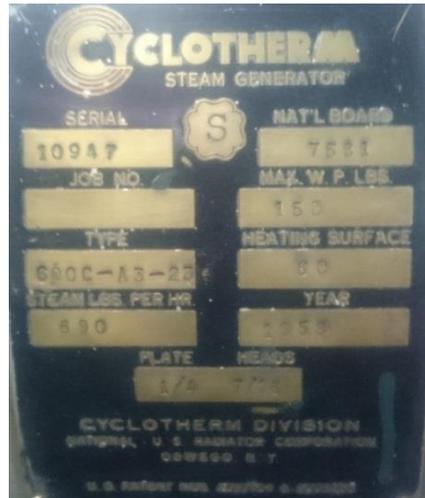


Figura 45. Placa de la caldera de NOVACLINICA.

Tabla 2.

**Datos técnicos de la caldera de NOVACLINICA.**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Radio	0.5	m
Largo	1.50	m
Potencia	690	Lb/hr
Presión Máxima de trabajo	150	PSI
Superficie de calentamiento	60	°C

- **Cálculo del consumo de combustible:**

Toda caldera estará equipada con un quemador dimensionado para suplir el poder calorífico que se requiere para generar vapor o agua caliente y en algunos casos calentar fluido térmico, dependiendo de la capacidad B.H.P. (Boiler Horse Power),  $\frac{BTU}{hr}$ , Kw, Kcal, lb/hr.

**DATOS:****Potencia de la caldera:**

$$P = 690 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

**Factores de conversión:**

$$1 \text{ hp} = 31,1 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$1 \text{ hp} = 33.472 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

**Poder calorífico combustible.**

$$1 \text{ galón de Diesel No.2 contiene: } 140 \frac{\text{BTU}}{\text{gl}}$$

**INCOGNITA:**

Consumo Diesel = ?

**RESOLUCIÓN:**

Convertir la potencia de  $\frac{\text{lb}}{\text{hr}}$  a HP

$$P = 690 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} * \left( \frac{1 \text{ hp}}{34.1 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}} \right)$$

$$P = 20.235 \text{ HP}$$

Convertir la potencia de HP a  $\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$

$$P = 20.235 \text{ HP} * \left( \frac{33.472 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{1 \text{ HP}} \right)$$

$$P = 677.29 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

**Dependiendo del combustible utilizado se puede estimar el consumo NOMINAL de cada caldera:**

$$\text{Consumo} = \frac{P \left( \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}} \right)}{\# \left( \frac{\text{BTU}}{\text{gl}} \right)}$$

$$\text{Consumo} = \frac{677.29 \left( \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}} \right)}{140 \left( \frac{\text{BTU}}{\text{gl}} \right)}$$

$$\text{Consumo} = 4.84 \frac{\text{Gl}}{\text{hr}}$$

Este procedimiento de cálculo NOMINAL se utiliza conociendo la capacidad en B.H.P. de cada caldera y que tipo de combustible quema.

### **IMPORTANTE.**

En la práctica, no existe la eficiencia de combustión total, los rangos de eficiencia de combustión dependerán del tipo de quemador y generalmente no superan el 90%; los rangos comunes oscilan entre los 80 a 88%. (Envirotech, 2014)

Esto modifica los cálculos anteriores de la siguiente manera:

**Eficiencia = 85 %**

$$P = \frac{677.29 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{85 \%}$$

$$P = 796.81 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\text{Consumo} = \frac{P \left( \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}} \right)}{\# \left( \frac{\text{BTU}}{\text{gl}} \right)}$$

$$\text{Consumo} = \frac{796.81 \left( \frac{\text{BTU}}{\text{Hr}} \right)}{140 \left( \frac{\text{BTU}}{\text{gl}} \right)}$$

$$\text{Consumo} = 5.96 \frac{\text{Gl}}{\text{hr}}$$

La cantidad de vapor que una caldera puede producir se mide en caballos de fuerza (HP). Para convertir 34,5 libras (15,6 kg) de agua a 212 grados Fahrenheit (100 grados Celsius) en vapor en una hora, se necesita que la potencia de la caldera sea de 1 HP. Esta medición se utiliza principalmente para indicar la cantidad de potencia que una caldera puede proporcionar en vapor. Para otras aplicaciones, tales como la calefacción, es más común el uso de la BTU (BTU, del inglés British Thermal Unit), o Unidad Térmica Británica.

El BTU representa la cantidad de energía de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 libra (0,45 kg) de agua por 1 grado Fahrenheit ( -17 grados Celsius) .

### 3.2.2. Bomba de combustible.

La Bomba de combustible que posee el quemador, es una bomba con regulador de presión y acople mecánico de serie B2TA-8260 como se muestra en la figura 46.



Figura 46. Bomba de combustible.

**Tabla 3.**  
**Datos técnicos de la bomba de combustible.**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Velocidad	3450	Rpm
Presión de salida	0 – 200	PSI
Conexión ingreso	1/4	Inch.
Conexión manómetro	1/4	Inch

### 3.2.3. Bombas centrífugas de agua.

Las bombas centrífugas de agua que posee Novaclinica S.A son centrífugas verticales como se muestra en la figura 47.



Figura 47. Bombas Centrífugas verticales CRT.

**Tabla 4.**  
**Datos técnicos de bombas de Agua**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Voltaje	240	V AC
Frecuencia	60	Hz
Caudal	3,3	$m^3/h$
Potencia	1.5	kW
Velocidad	3500	rpm
Presión/temperature.	25/100	Bar/C
Altura max.	105	m

### 3.2.4. Tanques de agua caliente.

Los tanques de agua caliente Nro 1 y Nro 2 que posee Novaclínica S.A se lo muestra en la figura 48 , las especificaciones técnicas se encuentran en la tabla Nro5.



Figura 48. Tanques de agua caliente en Novaclinica.

**Tabla 5.**  
**Datos técnicos Tanques de agua caliente.**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Presión	120	PSI
Conexión entrada vapor	1/2	Inch.
Conexión salida agua	1	Inch.
Conexión entrada agua	1	Inch.
Temperatura máx.	100	°C
Volumen		
Retorno Condensado	1/2	Inch.

### 3.2.5. Plancha Industrial.

En el área de lavandería se encuentra el proceso de planchado, el cual posee una plancha industrial como se lo muestra en la figura 49 y sus especificaciones técnicas en la tabla Nro 6.



Figura 49. Plancha Industrial en NOVACLINICA.

**Tabla 6.**  
**Datos técnicos de la plancha de NOVACLINICA.**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Presión	120	PSI
Conexión entrada vapor	1/2	Inch.
Temperatura máx.	120	°C
Retorno condensado	1/2	Inch.

### 3.2.6. Secadora de Ropa.

La secadora de ropa que se encuentra en el área de lavandería se muestra en la figura 50, donde se puede observar de igual manera las conexiones de vapor para su funcionamiento.

En la tabla Nro 7 se muestran las especificaciones técnicas de la secadora de ropa.



Figura 50. Secadora de ropa con sus conexiones de vapor.

**Tabla 7.**  
**Datos Tecnicos de la Secadora verde de Novaclinica**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Presión	120	PSI
Conexión entrada vapor	1/2	Inch.
Temperatura máx.	120	C
Tubería Retorno condensado	1/2	Inch.

### 3.2.7. Esterilizador.

El autoclave de esterilización que posee Novaclínica S.A es un equipo análogo, el cual tiene una prioridad alta de funcionamiento, en donde se debe asegurar que la presión de entrada no disminuya de los 40 psi, el equipo se lo muestra en la figura 51, con sus especificaciones técnicas en la tabla Nro 8.



**Figura 51. Esterilizador de NOVACLINICA.**

**Tabla 8.**  
**Datos tecnicos del esterilizador de NOVACLINICA.**

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDADES
Presión de entrada min.	40	PSI
Conexión entrada vapor	1/2	Inch.
Temperatura máx. de entrada	120	C
Retorno condensado	1/2	Inch.

### 3.3. MODELO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCION DE VAPOR.

Dentro de este sistema se muestra el ingreso de combustible de diesel mediante sus conexiones hacia la caldera, esta caldera es controlada mediante el tablero de control en el cual se encuentran las conexiones que activan la solenoide, la bomba de combustible, el controlador de llama y la señal de los presuretroles (control de presión).

La caldera tiene una alimentación de agua que es controlada por medio del sistema McDonnell & Miller el cual manda una señal hacia los contactores de las bombas de agua y esta a su vez lleva el agua ablandada desde el tanque de retorno de condensado hacia la caldera, el tanque ablandador de agua tiene un ingreso de agua cruda que al mezclarse con resina y pasar por un sistema de regeneración nos entrega agua sin calcio y magnesio, el cual evita que se formen capas de sarro dentro de los tubos de la caldera.

En la figura 52 se puede visualizar de manera general los elementos que constituyen la generación de vapor.

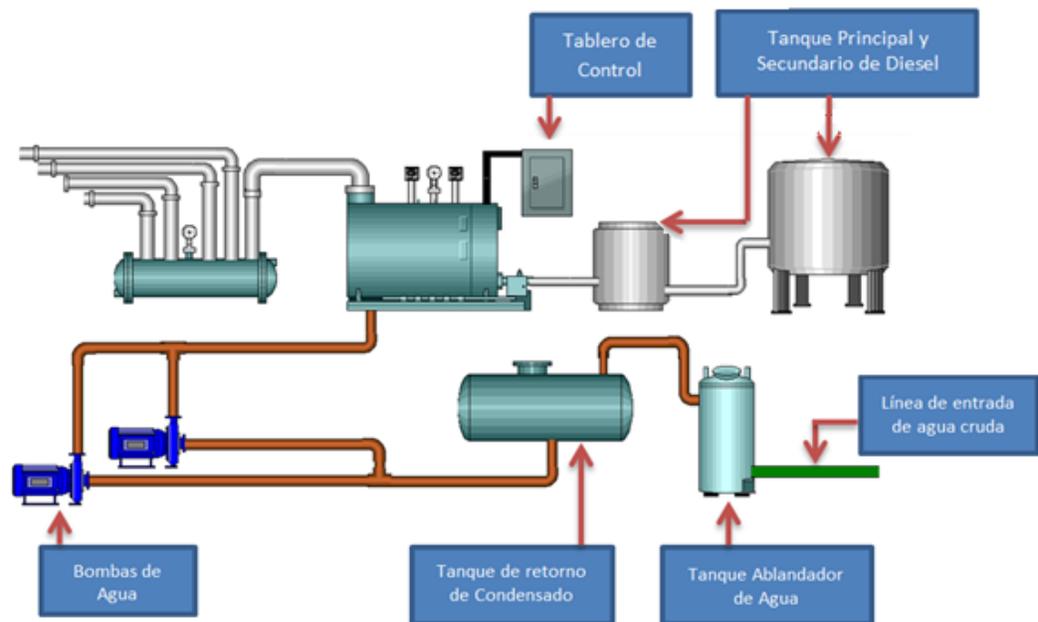


Figura 52. Sistema de generación de vapor.

El sistema de distribución de vapor parte desde el cabezal principal que tiene como entrada la alimentación de vapor proveniente desde la caldera y sus ramales de vapor que van a los dos tanques de agua caliente, el esterilizador y el área de lavandería en donde necesita de vapor la plancha industrial y las dos secadoras de ropa.

En la figura 53 se puede visualizar de manera general como se distribuye el vapor en la clínica Novaclinica S.A

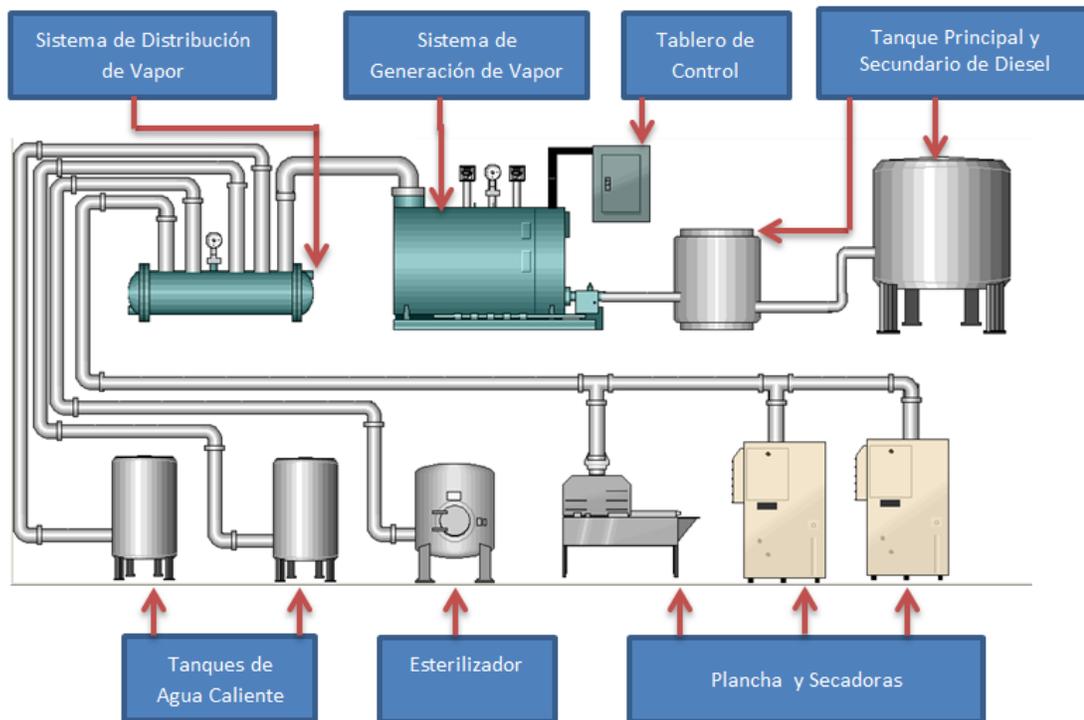


Figura 53. Sistema de distribución de vapor.

### 3.4. LEVANTAMIENTO DE PLANOS.

#### 3.4.1. Diagramas de bloques.

Véase en el anexo A (Diagrama de bloques)

#### 3.4.2. Diagramas P&ID.

Véase en el anexo B (Diagramas P&ID)

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO.

#### 4.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control general está dividido en siete diferentes subsistemas, donde es importante definir las características de cada proceso y las variables que trabajan con cada uno de ellos. En la tabla 9 se encuentran los procesos que trabajan con el consumo de vapor, los elementos principales a utilizar de cada proceso y las variables a controlar.

El diseño del sistema de control trabaja sobre tres parámetros que son:

- Definición de los procesos a controlar.
- Definición de Elementos que intervienen en cada proceso.
- Definición de Variables a controlar.

**Tabla 9.**  
**Definición de los procesos a controlar.**

PROCESO	ELEMENTOS	VARIABLES
1. Control de temperatura en el tanque de agua caliente N1	Tubería, válvula check, electroválvula, sensor y transmisor de temperatura, indicador de temperatura.	Flujo de vapor, temperatura.
2. Control de temperatura en el tanque de agua caliente N2	Tubería, válvula check, electroválvula, sensor y transmisor de temperatura, indicador de temperatura.	Flujo de vapor, temperatura.
3. Control de nivel de agua de la caldera.	Mac Donell, contactores, bomba centrifuga.	Nivel alto y nivel bajo de agua en la caldera.
4. Control en la línea de entrada de vapor de las secadoras.	Tubería, válvula check, electroválvula.	Flujo de vapor.
5. Control en la línea de entrada de vapor del equipo de la plancha.	Tubería, válvula check, electroválvula.	Flujo de vapor.
6. Control en la línea de entrada de vapor del equipo de esterilización.	Tubería, válvula check, electroválvula.	Flujo de vapor.
7. Control de presión en esterilizador.	Tubería, valvula check, presuretrol.	Presión en la línea de vapor.

#### **4.1.1. Definición del controlador principal.**

Ya definidos los procesos a controlar, el controlador principal deberá cumplir con ciertas características para que su funcionamiento sea garantizado y cumpla con la función de controlar y monitorear los siete diferentes procesos definidos en la tabla 7-1.

##### **Características del controlador principal:**

➤ **Robustez**

El controlador va a trabajar en un ambiente industrial el cual estará dentro del cuarto principal de la caldera, la temperatura dentro de este cuarto supera los 37°C, es necesario que el controlador pueda garantizar el trabajo tolerando dicha temperatura.

➤ **Comunicación.**

Al ser un proceso de monitoreo y control, el controlador principal deberá tener un módulo de comunicación, el cual garantice el envío y la recepción de datos, esta transferencia de datos debe ser fiable ya que las variables a trabajar se encuentran en un ambiente industrial con sustancias altamente inflamables.

➤ **Montaje.**

El montaje del controlador debe ser compacto y de acceso rápido al operador en caso de realizar un mantenimiento preventivo y correctivo.

➤ **Costo.**

El costo del controlador varía dependiendo de los procesos a controlar, se debe mantener una relación entre el funcionamiento de cada proceso y el ambiente en el cual se lo va a hacer trabajar.

➤ Flexibilidad.

El controlador deberá tener la capacidad de ser programable para de esta manera reducir el hardware de control y su información técnica se encuentre disponible para realizar cualquier cambio en el futuro.

### Selección del controlador.

El controlador principal escogido para este proyecto es un controlador lógico programable (PLC) como se muestra en la figura 54, ya que este tipo de controlador cumple con las características anteriormente mencionadas y debido a que en un ambiente industrial es recomendable utilizar este tipo de controladores.

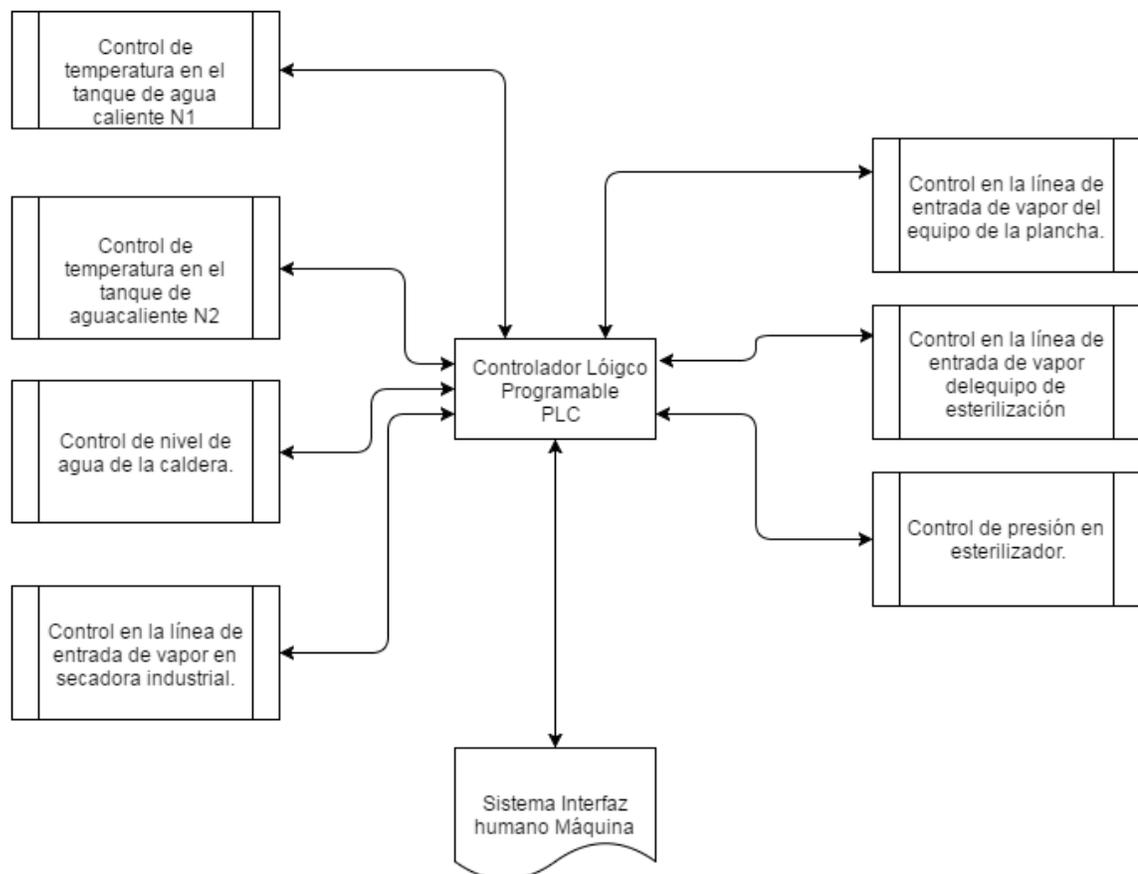


Figura 54. Esquema del controlador principal.

## **4.2. DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN TANQUE DE AGUA CALIENTE N1 Y N2.**

### **4.2.1. Diagnóstico del control de temperatura.**

En NOVACLÍNICA S.A el control de temperatura se encuentra establecido con el mismo valor sin importar la hora del día. Realizar un control que dependa de la hora del día tiene como objetivo ahorrar el consumo de vapor que se desperdicia en la noche ya que por lo general el consumo de agua caliente a partir de las 20 horas disminuye y se vuelve a restablecer a partir de las 5 am.

Para obtener un diagnostico general se realizó los siguientes trabajos:

- Revisión del transmisor y el actuador en el control de temperatura.
- Medición de temperatura del agua en el último piso de Nova clínica S.A.
- Medición de retorno de Condensado en tanque N1 y N2.
- Abastecimiento de agua caliente solo con tanque N1.
- Abastecimiento de agua caliente solo con tanque N2.

#### **• Resultados del diagnóstico.**

- El control de temperatura en el Tanque N1 se encuentra averiado, permitiendo el paso de vapor durante todo el día, el cierre de vapor hacia este tanque se lo hace manualmente.
- La temperatura del agua es muy elevada a ciertas horas del día.
- Para que exista abastecimiento de agua caliente en todo el edificio de Nova clínica, es necesario que los dos tanque estén funcionando a la par.

### **4.2.2. Requisitos del nuevo control de temperatura.**

El consumo de vapor es proporcional a la cantidad de retorno de condensado que genera la máquina, es así que a mayor consumo de vapor se

generará mayor cantidad de retorno de condensado durante un instante de tiempo.

El trabajo del nuevo control de temperatura en los tanques de agua caliente deberá reducir el consumo de vapor y por ende el retorno de condensado.

- Control de Temperatura a diferentes horas del día.
- **Control de temperatura modo manual.** El control manual de temperatura deberá ser útil para que el operador en caso de necesitar aumentar la temperatura del agua pueda establecer el “set point” de cada tanque o forzar a la electroválvula a realizar el paso de vapor para aumentar la temperatura en el tanque.
- **Control de temperatura modo automático.** En el modo Automático el control de temperatura se lo realizará dependiendo la hora del día, en este modo de operación se obtendrá un ahorro de consumo de vapor.
- Sensores de Temperatura análogos que puedan dar una información constante y en tiempo real de la temperatura en cada tanque.
- Un control donde se varié la temperatura deseada a diferentes horas del día, para controlar que la temperatura no sea muy elevada y por ende no haya un consumo de vapor innecesario.
- Un control en el cual el operador desde una interfaz pueda observar la temperatura real y la temperatura establecida dependiendo la hora del día.
- Un control en el cual el operador pueda elegir el modo de funcionamiento, que permita establecer automáticamente la temperatura deseada o manualmente el operador pueda establecer la temperatura.

#### **4.2.3. Implementación de acciones.**

- **Medición de condensado.**

Para lograr medir el retorno de condensado se abre la tubería después de la trampa de vapor y tomando en cuenta las seguridades respectivas se instala

un nuevo acople q lleve todo el retorno de condensado hacia un recipiente, el cual pueda ser pesado como se muestra en la figura 55.



Figura 55. Medición de condensado.

La medición de retorno de condensado, se lo deberá realizar a diferentes horas del día, durante dos horas de trabajo, lo que se obtiene al pesar la cantidad de condensado en un lapso de tiempo de trabajo nos indica una proporción del consumo de vapor del proceso.

Dentro de la instalación de la tubería de retorno de condensado se debe realizar un desfogue después de la trampa de vapor, como se lo muestra en la figura 56.

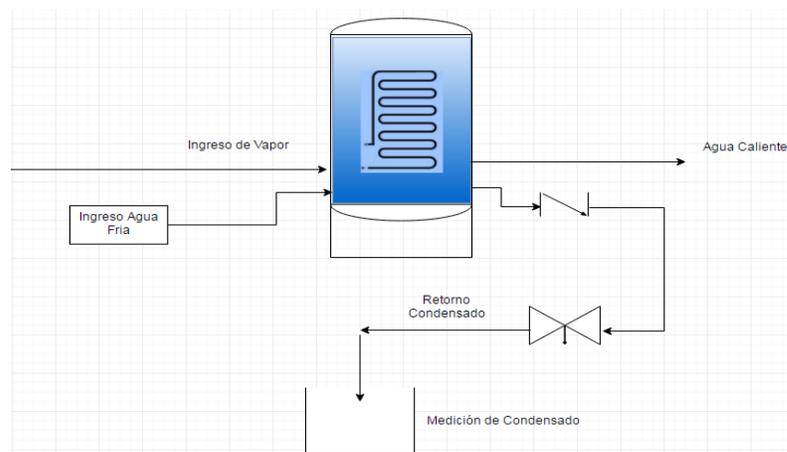


Figura 56. Esquema de medición de condensado.

En la figura 57 se muestra la instalación de la tubería en hierro negro para realizar el desfogue y así en el lapso de trabajo poder recoger el retorno de condensado del proceso, en este caso, del tanque de agua caliente Nro. 2.

Una vez ya recolectado el condensado del proceso en un tanque, se mide el peso del mismo como se lo muestra en la figura 58 y se debe tomar los datos y almacenarlos en una tabla de trabajo, los datos dentro de esta tabla serán los que proporcionen la información del consumo del vapor a lo largo del día.



Figura 58. Instalación de tubería



Figura 57. Medición del peso de condensado.

La tabla 10 muestra las mediciones realizadas a lo largo del día en el tanque Nro.2, muestra el tiempo de trabajo y la hora en la que se realizó la medición y el valor del peso en libras.

**Tabla 10.**  
**Peso de condensado en Lbs/ hora -tanque Nro. 2.**

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>24h</b>							
<b>10h</b>	152,44	158,22	141,43	158,65	160,87	136,87	140,27
<b>12 h</b>	144,35	154,85	138,8	148,59	156,61	134,24	140,02
<b>15 h</b>	133,64	142,64	125,23	137,37	146,19	120,67	120,23
<b>18 h</b>	67,25	72,48	54,22	64,8	75,16	49,66	57,27
<b>20 h</b>	83,45	86,68	47,88	91,45	85,23	43,32	46,72
<b>24 h</b>	61,48	72,67	44,21	67,48	71,22	39,65	37,73
<b>3 h</b>	20	33,78	17,82	15,66	38,01	13,26	12,78
<b>6 h</b>	50,46	48,65	20,53	35,67	41,84	15,97	22,71
<b>8 h</b>	140,76	135,24	144,55	154,27	148,92	139,99	128,33

Los datos técnicos de la tabla 10 ayudarán para estadísticamente realizar los gráficos del consumo de vapor diario mostrado desde la figura 59 hasta la figura 65, desde el día lunes hasta el día domingo y lograr establecer los rangos de mayor y menor consumo.

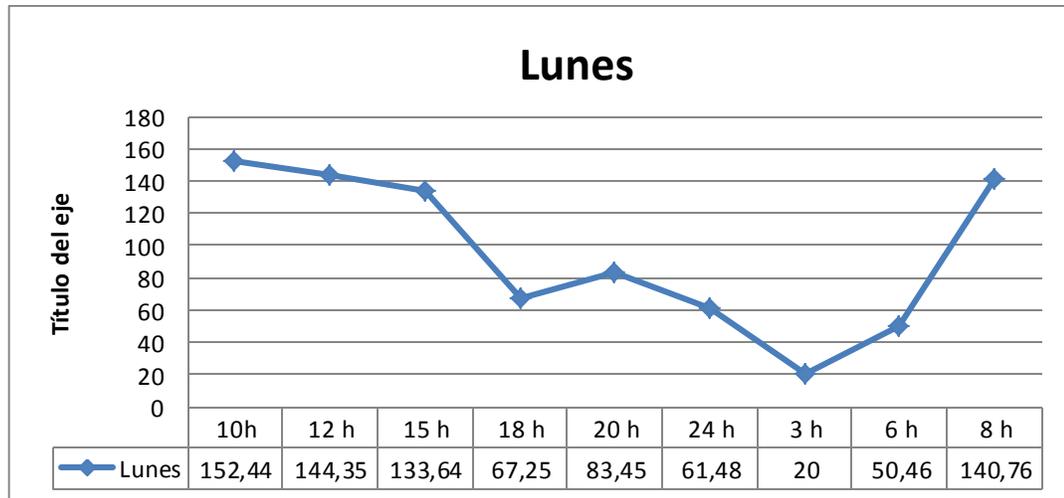


Figura 59. Peso de condensado día lunes.

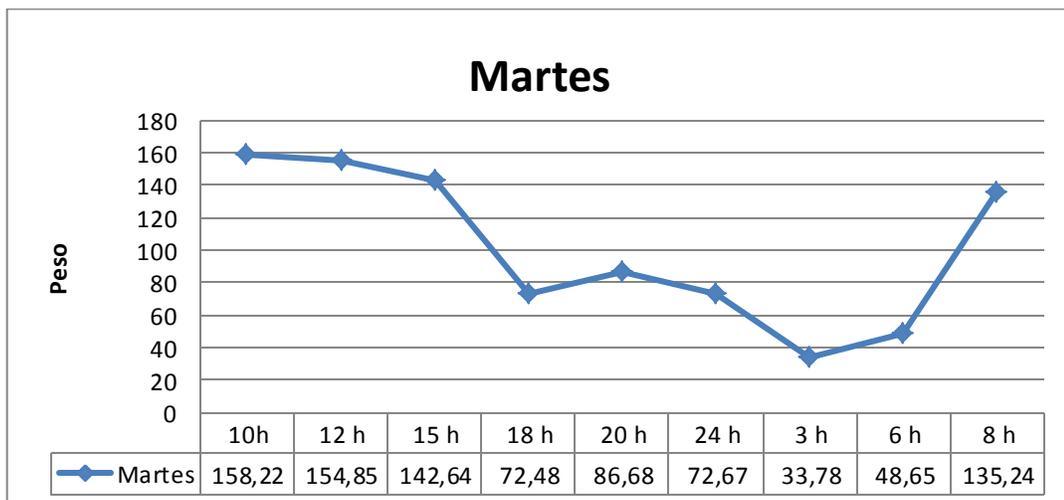


Figura 60. Peso condensado día martes.

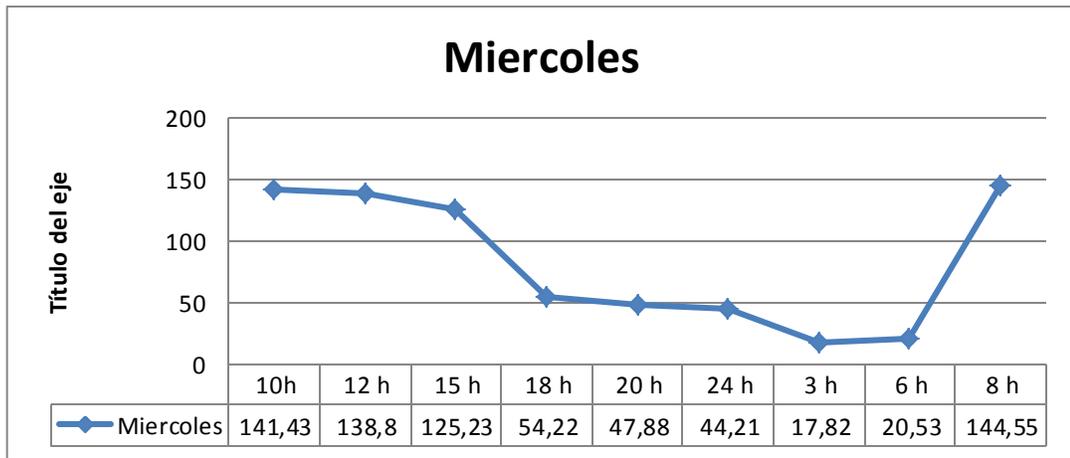


Figura 61. Peso condensado día miércoles.

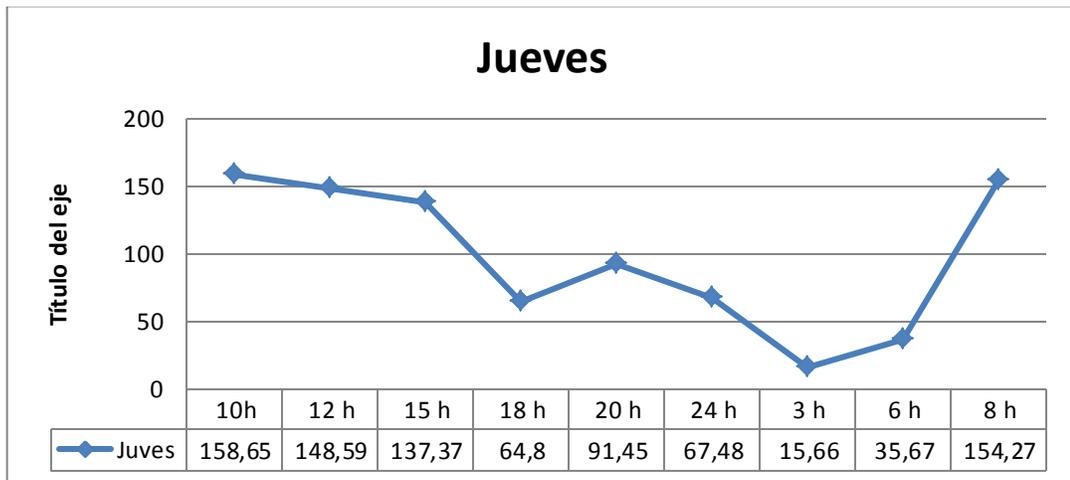


Figura 62. Peso de condensado día jueves.

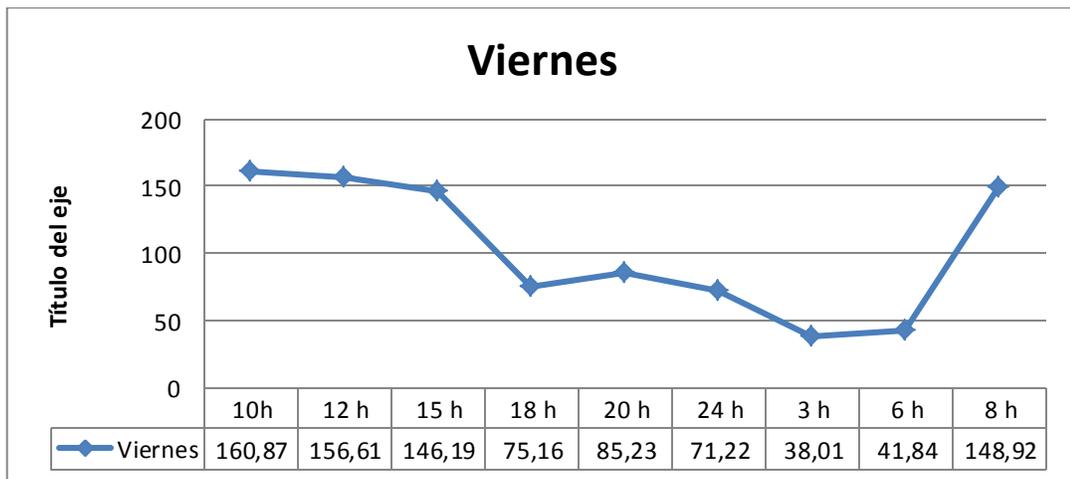


Figura 63. Peso de condensado día viernes.

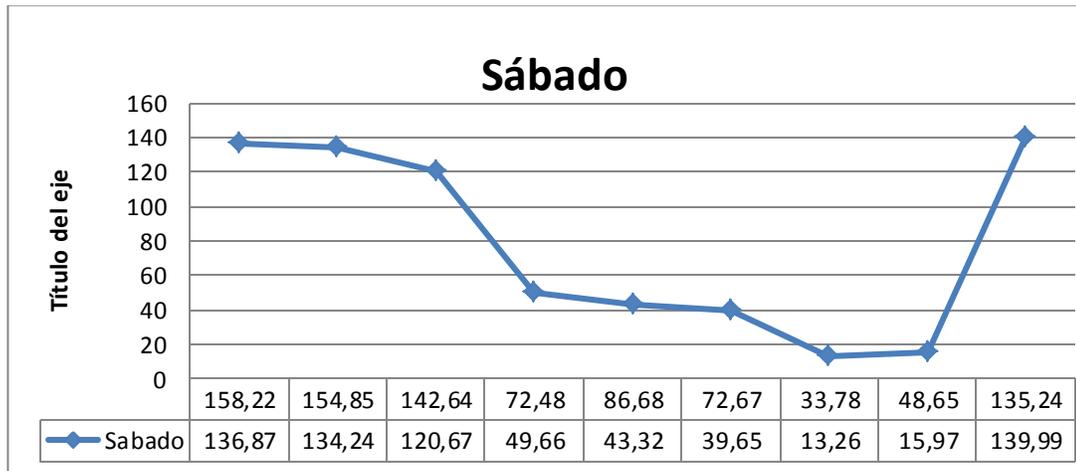


Figura 64. Peso condensado día sábado.

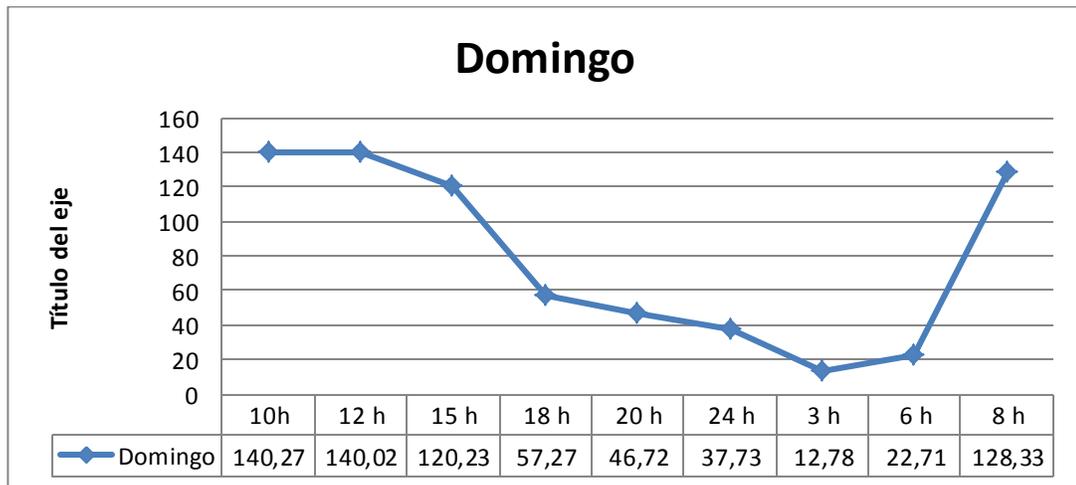


Figura 65. Peso condensado día domingo.

Los datos estadísticos del consumo de vapor de cada día q se muestran en la figura 66 ayudará a realizar una aproximación de consumo de vapor diario y con estos datos establecer rangos de temperatura dependiendo de la hora del día.

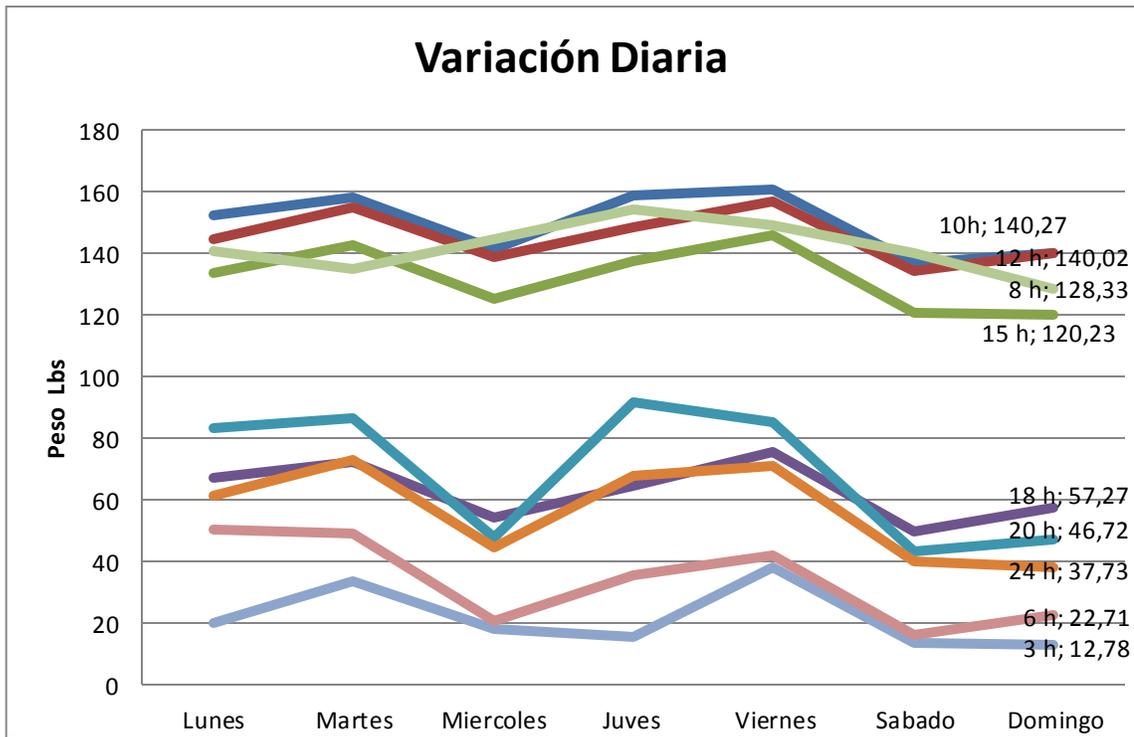


Figura 66. Históricos de consumo diario.

Al obtener el valor de los consumos diarios, se calcula la media de consumo de vapor en una hora específica durante toda la semana, como se muestra en la figura

67.

$$Media = \frac{\sum_i^n x(i)}{n}$$

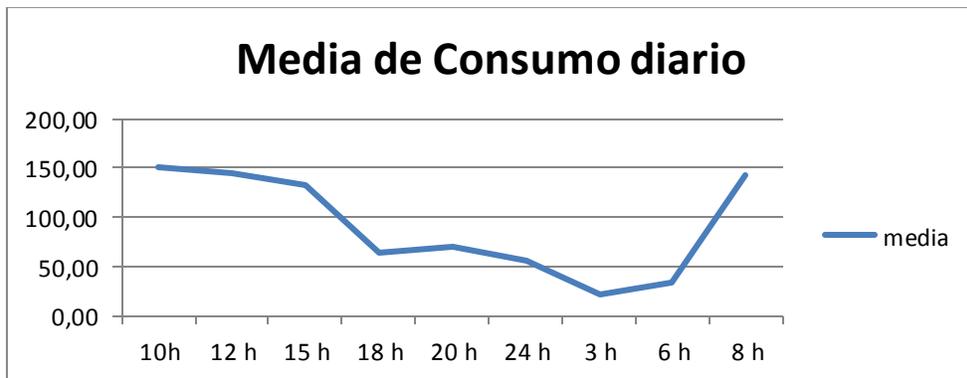


Figura 67. Media de consumo diario.

El valor de la media de consumo diario de vapor, ayudará a obtener la varianza de consumo de vapor .La varianza indicará que tanto varia el consumo diario de vapor a una cierta hora del día durante toda la semana. La varianza esta mostrada en la figura 68

$$Varianza = \frac{\sum_i^n (x(i) - Media)^2}{n}$$

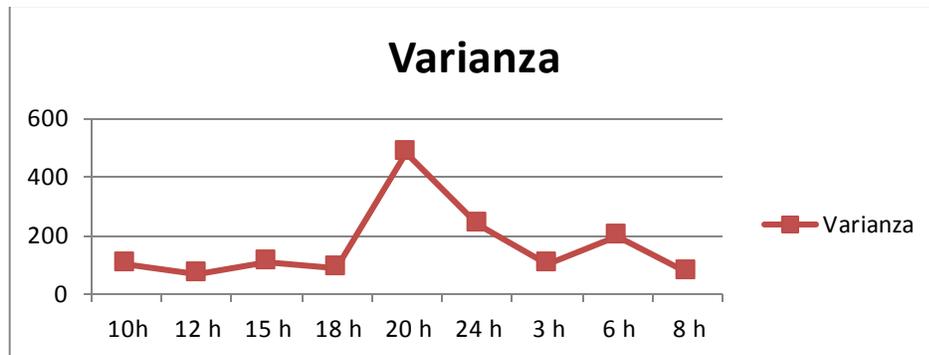


Figura 68. Varianza de consumo diario.

Mediante la varianza, se puede observar que existen cambios de pendiente, estos cambios de pendiente nos muestran que el consumo de vapor cambia su valor a diferentes horas del día, esto muestra que el consumo de vapor no es el mismo de 18 horas a 20 horas, un día lunes que un día jueves.

Los puntos de cambio de pendiente más destacables son los puntos "3", "4", "5", "6", mostrado en la figura 69 y es ahí donde el sistema de control de temperatura en los tanque de agua caliente debe actuar.

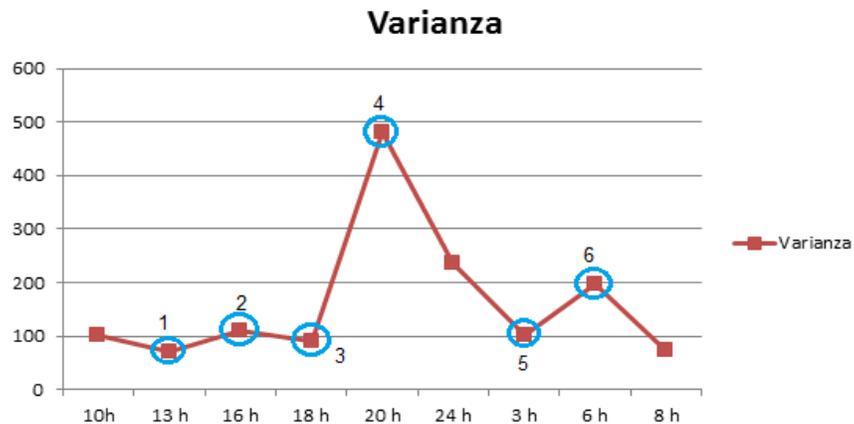


Figura 69. Varianza de consumo diario.

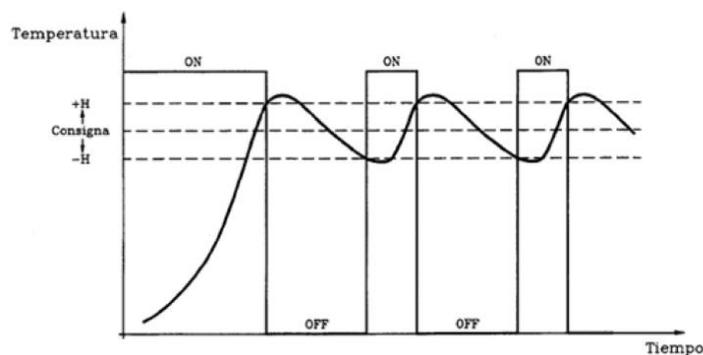
Cada uno de estos puntos pertenece a diferentes horas del día. Los valores de las horas donde se producen los cambios de pendiente más pronunciados se irán comparando con los valores de la figura 69, los cuales indicarán la media del consumo de vapor y de esta manera ir estableciendo los rangos de horas de trabajo y las rango de temperatura para cada uno de ellos.

**Tabla 11.**  
**Rangos de temperatura - Vs -Hora del día.**

Rango Horario	Temperatura de Trabajo
10:00h- 18:00h	40°C
18:00h - 20:00h	50°C
20:00h - 03:00h	35° C
03:00 h – 06:00 h	40°C
06:00h – 10:00 h	55° C

#### 4.2.4. Control ON-OFF con hysteresis.

Es necesario realizar un control sin la necesidad de la intervención continua de un operario de acuerdo a las condiciones requeridas por un proceso. El control que se realizará en los tanques de agua caliente de Novaclínica será (ON-OFF), ya que la tolerancia de la temperatura se la puede manejar mediante un rango de histéresis; como se muestra en la figura 70, logrando así que la señal no cambie de forma brusca.



**Figura 70. Control ON-OFF con Histeresis.**

Fuente: (Roberto Proaño, 2012)

En calderas, el control (ON-OFF) con histéresis, es muy útil para el diseño pues así evitará una brusca activación de los contactores y actuadores en general ayudando a prolongar así su vida útil. Lo indispensable de este método de control consiste en ajustar la histéresis de modo que exista una variación de tiempo entre el modo “ON” y “OFF”, esto es el overshoot cuando la magnitud de la temperatura rebasa al setpoint y el undershoot en el caso contrario. (Roberto Proaño, 2012)

#### 4.2.5. Medición de temperatura.

Se utilizará un sensor de platino (PT100) como se muestra en la figura 71, ya que este material ofrece una linealidad resistiva en un rango de 0-400°C , el tipo de sensor , será de tipo “B” ya que , esta característica muestra que su error es de  $\pm 0.30$  (en rangos de -200 a 850°).



Figura 71. PT100 Tipo B.

Fuente: (Roberto Proaño, 2012)

Para el sensor de temperatura mostrado el método más empleado para medir pequeños cambios de resistencia consiste en dos divisores de tensión en paralelo, uno de los cuales contiene el transductor de temperatura, y mediante la ecuación propia para el PT100 describe un comportamiento lineal en un intervalo aproximado de (0-400°C).

### 4.2.6. Transmisión de la temperatura.

#### Acondicionamiento de señal de temperatura.

El esquema de acondicionamiento de la señal para la variación de resistencia proveniente desde el sensor PT100 ( $R_T$ ) se muestra en la figura 72.

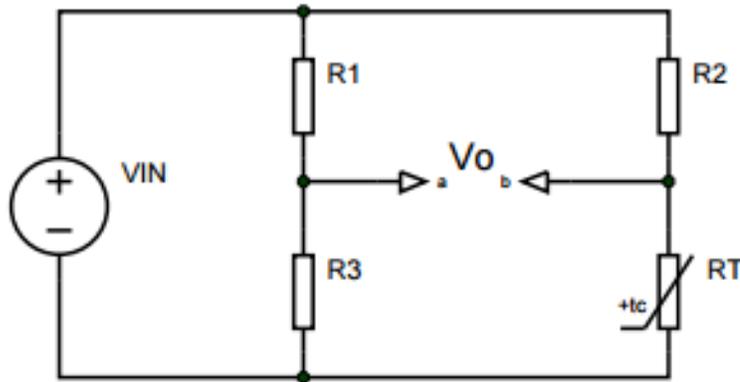


Figura 72. Esquema de puente de Wheastone 1.

$$R_T = R_o(1 + \alpha(T - T_o))$$

$$T' = T - T_o$$

$$V_o = V_b - V_a$$

$$V_o = V_{in} \times \frac{R_T}{R_T + R_2} - V_{in} \times \frac{R_3}{R_3 + R_1}$$

$$V_o = V_{in} \times \frac{R_o(1 + \alpha T')}{R_o(1 + \alpha T') + R_2} - V_{in} \times \frac{R_3}{R_3 + R_1}$$

**Condición en equilibrio:**

$$V_o = 0$$

$$\frac{R_T}{R_T + R_2} = \frac{R_3}{R_3 + R_1}$$

**Si**

$$R1 = R2$$

**Entonces:**

$$RT = R3$$

$$RT = Ro(1 + \alpha T')$$

**Dónde:**

Ro = resistencia de referencia a 42 °C

$$Ro = 116,3 \Omega$$

$\alpha$  = coeficiente de temperatura

$$\alpha = 0,00385 \frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}}$$

Escala práctica de Temperaturas Internacionales (IPTS-68)

T' = Temperatura Ambiente (Dentro del cuarto de caldera)

$$T' = 32^{\circ}\text{C}$$

**Entonces:**

$$RT = 116,3(1 + 0,00385 \times (32))$$

$$RT = 130,3 \Omega$$

**Resistencias en puente de Wheastone.**

$$R1 = R2 = Ro = 116,3$$

$$R3 = 130,3$$

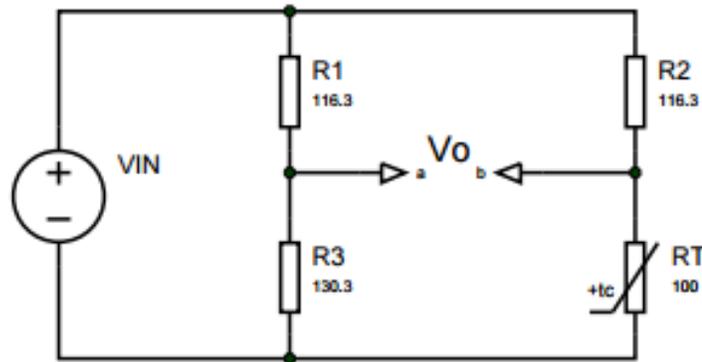


Figura 73. Esquema puente de Wheastone 1.

#### 4.2.7. Diseño del diagrama de interconexión del control de temperatura.

En la figura 74 se muestra las conexiones eléctricas del control de temperatura a realizar en los tanques N1 y N2 en la clínica NOVACLINICA S.A.

Dentro de este diagrama, se debe destacar los siguientes elementos:

- El switch SW1 es el que activa el sistema para realizar el control.
- El control de temperatura consta de dos luces indicadoras (LP1 y LP2), que indican el estado de las electroválvulas (SV1 y SV2) de cada tanque respectivamente.
- Los sensores de temperatura (RTD1 y RTD 2) deben ir conectados en los puentes de wheastone y estos a su vez hacia el autómatas programable.

Es muy importante tener una guía para la realización de las conexiones de los elementos que intervienen en el control de temperatura a implementar como se muestra en la figura 74, de esta manera se tiene una documentación detallada que permitirá seguir paso a paso y prevenir errores en las conexiones, otro punto de tener documentación de este tipo es, que permite realizar el trabajo por etapas; es decir si en un determinado tiempo no se logra acabar con

las conexiones se puede retomar el trabajo en otra instancia de tiempo teniendo la confianza de que se tiene la referencia correspondiente para retomar el trabajo.

Este diagrama de interconexiones facilitará el manteniendo predictivo y correctivo a realizarse en el control de los tanques de agua caliente y brinda una guía técnica para la detección de fallas y su rápida rectificación.

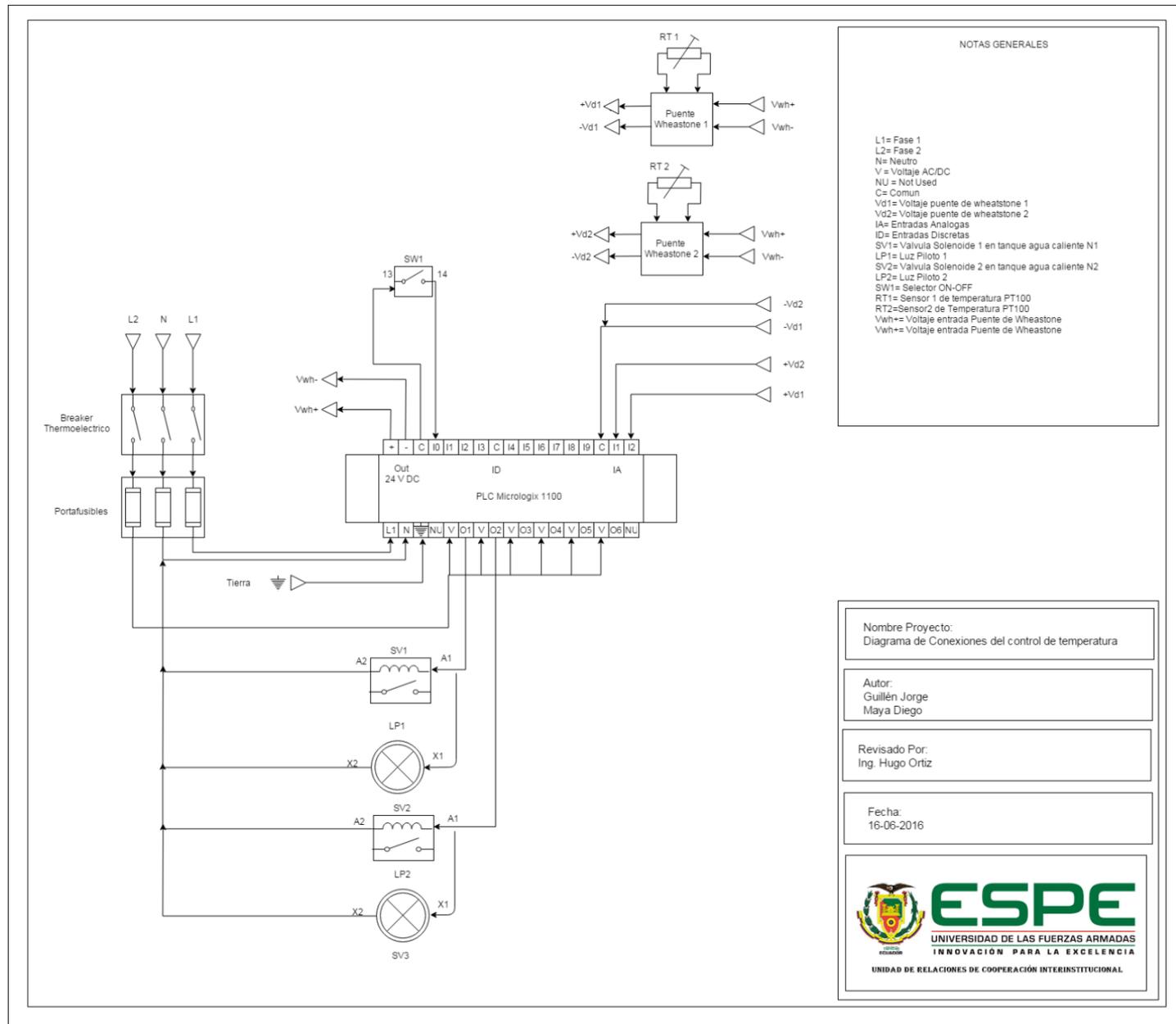


Figura 74 Interconexiones eléctricas - Control de temperatura.

### **4.3. DISEÑO DEL CONTROL DE ACTIVACIÓN DE LA BOMBAS DE AGUA.**

#### **4.3.1. Diagnóstico del control de encendido de bombas.**

El control de encendido de bombas de agua es primordial para el funcionamiento de la caldera, dicho control lo maneja el controlador McDonnell & Miller, donde se debe realizar un diagnóstico que indique como funciona actualmente el controlador, teniendo en cuenta que se deberá realizar cambios manteniendo un correcto funcionamiento.

Se deberá realizar las siguientes actividades para de esta manera obtener un diagnóstico general.

- Revisión de interconexiones eléctricas en el tablero de control.
- Revisión de la señal de accionamiento desde el controlador McDonnell & Miller.
- Revisión de los modos de funcionamiento de las bombas de agua.
- Revisión de señalética en tablero de control.
- **Resultados del diagnóstico.**
  - Las conexiones eléctricas en el tablero de control incumplen la norma IEC 60439-1 que indica, que debe existir un orden en el trazado del cable y que toda conexión deberá estar dentro de una canaleta apropiada.
  - El controlador McDonnell & Miller cumple con la función de mandar la señal de activación cuando la caldera se encuentra en un estado de bajo nivel de agua y de igual manera en el estado de alto nivel de agua.
  - Dentro de los modos de funcionamiento de las bombas de agua, se encuentra inhabilitado el modo automático, obligando así la presencia del operador para realizar el cambio de encendido de bomba en diferentes días.

- No existe señalética en el tablero de control.

#### **4.3.2. Planeación del nuevo control de encendido de bombas.**

- Señal que indique el nivel de agua en la caldera

El controlador McDonnell & Miller envía una señal eléctrica cuando el nivel de agua de la caldera se encuentra bajo, esta señal permite el encendido de las bombas de agua así como también en otra señal eléctrica cuando el nivel de agua se encuentra en alto esta señal por lo contrario permite el apagado de las bombas.

- Horas de trabajo de cada bomba.

Las bombas de agua deben tener un controlador de tiempo de trabajo, para que así de esta manera se pueda monitorizar que bomba lleva trabajando por más tiempo y alternar su funcionamiento en el transcurso del día.

- Modo de operación (manual o automático).

El modo de operación de las bombas, está a la elección del operador ya que este deberá decidir si las bombas van a trabajar de forma automática, el cual mediante una comparación de tiempos de trabajo hará funcionar alternadamente a las bombas durante el día; el modo de operación manual está diseñado para que cuando alguna de las bombas se encuentre en mantenimiento el operador pueda elegir que bomba trabaje periódicamente.

#### **4.3.3. Diseño del diagrama de interconexión del control de encendido de bombas de agua.**

En la figura 75 se muestra las conexiones eléctricas del control de encendido de bombas en la clínica NOVACLINICA S.A.

Dentro de este diagrama, se debe destacar los siguientes elementos:

- SW2: Selector de bombas, este dispositivo solo está habilitado en el modo de funcionamiento “manual” ya que así se podrá seleccionar que bomba trabaje de forma manual.

- SW3: Selector De modo de funcionamiento, manual o automático.
- HL: Señal de nivel alto de agua proveniente desde la caja de conexiones del controlador McDonnell & Miller.
- LL: Señal de nivel alto de agua proveniente desde la caja de conexiones del controlador McDonnell & Miller.
- Contactor – A : Contactor de conexiones eléctricas de las bombas de agua , normalmente cerrado en bomba 2 y normalmente abierto en bomba 1 .

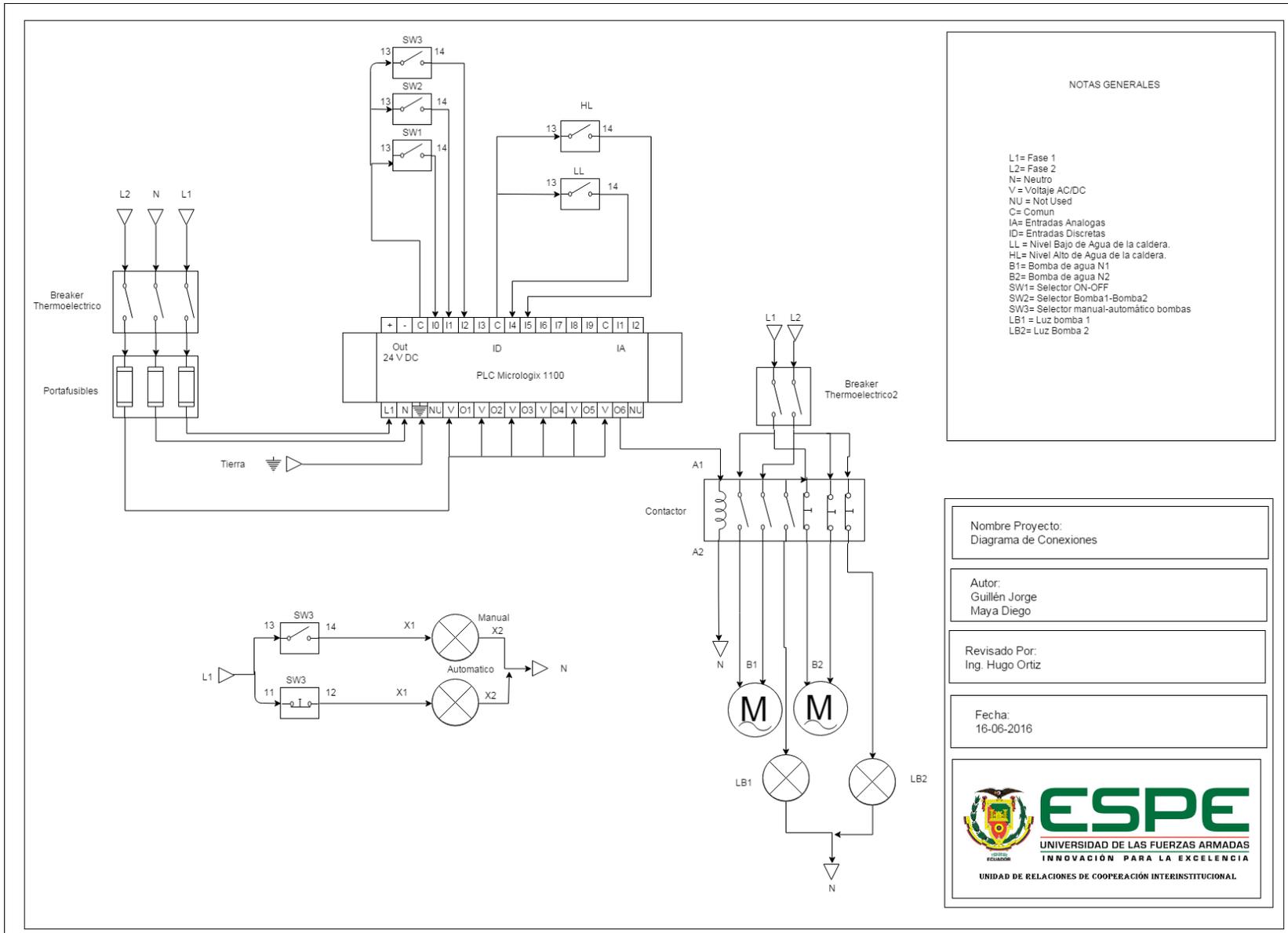


Figura 75. Diseño control encendido bombas.

#### **4.4. DISEÑO DE CONTROL DE PRESIÓN EN EL ESTERILIZADOR.**

##### **4.4.1. Diagnóstico del control de presión en esterilizador.**

El control del proceso de esterilización será de gran ayuda al momento de reducir el consumo de vapor ya que actualmente Novaclínica no posee un control sobre dicho proceso, las actividades que se deberán realizar para que exista un control que permita reducir el consumo de combustible son las siguientes:

- Presión mínima para el funcionamiento del esterilizador.
- Distancia desde el esterilizador hacia el tablero de control.
- Diagnóstico de la tubería de vapor, desde el distribuidor de vapor hacia el esterilizador.
- Diagnóstico de los elementos de control de presión en esterilizador.

- **Resultados del diagnóstico.**

- La presión mínima de entrada para el funcionamiento del esterilizador es de 40 psi, si esta presión baja el esterilizador entra en el estado de aborto de proceso.
- La distancia del equipo de esterilización hasta el distribuidor de vapor es de 26 metros de recorrido de tubería, por ende se debe considerar las pérdidas de presión por distancia de tubería.
- No se encuentra ningún tipo de control automático de presión en la línea de entrada del equipo de esterilización, obligando al operador al ser el que asegure la entrada mínima de presión para su correcto funcionamiento.

##### **4.4.2. Planeación del nuevo control de presión en el equipo de esterilización.**

- Activación del equipo.

Es importante saber que este equipo está encendido porque es de mayor prioridad el proceso de esterilización que los demás procesos.

- Señal que indique la presión en la línea de entrada de vapor.

Mediante la señal de un presuretrol que se instalará en la línea de entrada de vapor del esterilizador, se podrá identificar cuando la presión supere los 40 PSI requeridos para el funcionamiento correcto del equipo.

El presuretrol permite crear una ventana de histéresis en la cual se defina como presión máxima 50 PSI y presión mínima de 45 PSI con este rango se garantiza que la presión en la entrada de vapor siempre sea mayor a 40 PSI.

- Recubrimiento en tubería de vapor.

La tubería de vapor que va desde el distribuidor de vapor hacia el equipo de esterilización, debe tener un recubrimiento con cañuelas de fibra de vidrio para lograr mantener la temperatura y de esa manera no generar condensado dentro del trazado de la tubería.

#### **4.4.1. Diseño del diagrama de interconexión del control de presión en el esterilizador.**

En la figura 76 se muestra las conexiones eléctricas del control de encendido de bombas en la clínica NOVACLINICA S.A.

Dentro de este diagrama, se debe destacar los siguientes elementos:

SWE: Switch de encendido de esterilizador y el operador deberá accionarlo para así enviar la señal de que el proceso entra en su parte inicial de esterilización y requiere la presión de vapor de 40 psi para comenzar.

CP: Es un contacto del presuretrol normalmente abierto, que cuando llega a la presión seleccionada, se cierra y así se puede mandar la señal de que la presión llegó al punto requerido.

SV3: Electroválvula para paso de vapor hacia el esterilizador, esta electroválvula permitirá el paso de vapor cuando el proceso de esterilización este en marcha.

LP3: Luz piloto, esta luz estará en el tablero de control, para que así el operador pueda visualizar si se encuentra activo o no el proceso de esterilización.

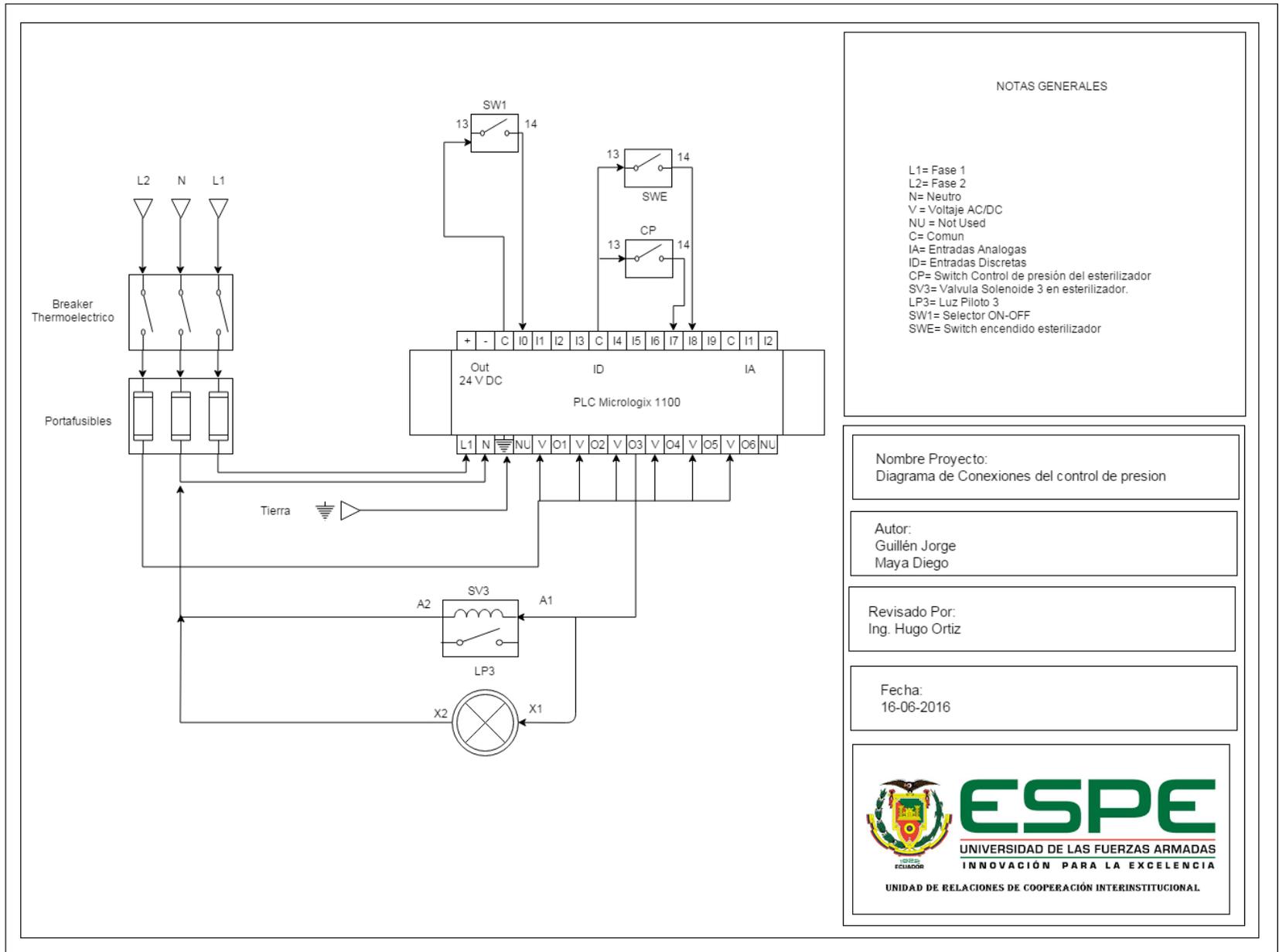


Figura 76 Interconexiones eléctricas control esterilizador

## 4.5. DISEÑO DE CONTROL DE VAPOR EN LAS MÁQUINAS DEL ÁREA DE LAVANDERÍA.

### 4.5.1. Diagnóstico de control de vapor en plancha y secadora industrial.

El control que se debe realizar en las máquinas de lavandería depende mucho del tiempo de funcionamiento de las mismas, ya que este tiempo está relacionado con el consumo de vapor y por ende el consumo de combustible de la caldera , las actividades que se deben realizar para mejorar el funcionamiento de cada una de las maquinas son los siguientes:

- Medición de tiempos de uso de cada máquina industrial.
- Revisión de tubería de vapor desde el distribuidor hasta la máquina industrial.

- **Resultados del diagnóstico.**

#### **Tiempo de consumo de vapor en plancha industrial.**

La medición de tiempos de trabajo en el área de planchado mostrados en la tabla 12, indica un rango de consumo de vapor diario de vapor de la máquina.

**Tabla 12.**  
**Tiempos de funcionamiento diario de planchado.**

Hora del día	Bloques Planchados	Tiempo de Planchado / bloque	Tiempo sin planchar	Tiempo total de Planchado
6 am - 8 am	5	20	20	100
8am - 10 am	4	25	20	100
10am - 12 am	2	27	66	54
12am-2pm	0	0	120	0
2pm-4pm	5	22	10	110
4pm-6pm	4	25	20	100
6pm-8pm	3	27	39	81
8pm-10pm	3	25	45	75
10pm - 12 am	3	25	45	75
12am-6 am	0	0	120	0

En la representación gráfica mostrada en la figura 77 se puede observar el tiempo de uso de la plancha industrial (azul) y el tiempo en la cual la plancha permanece consumiendo vapor innecesariamente durante el día.

El tiempo sin planchar (rojo) representa el consumo innecesario de vapor de la máquina.

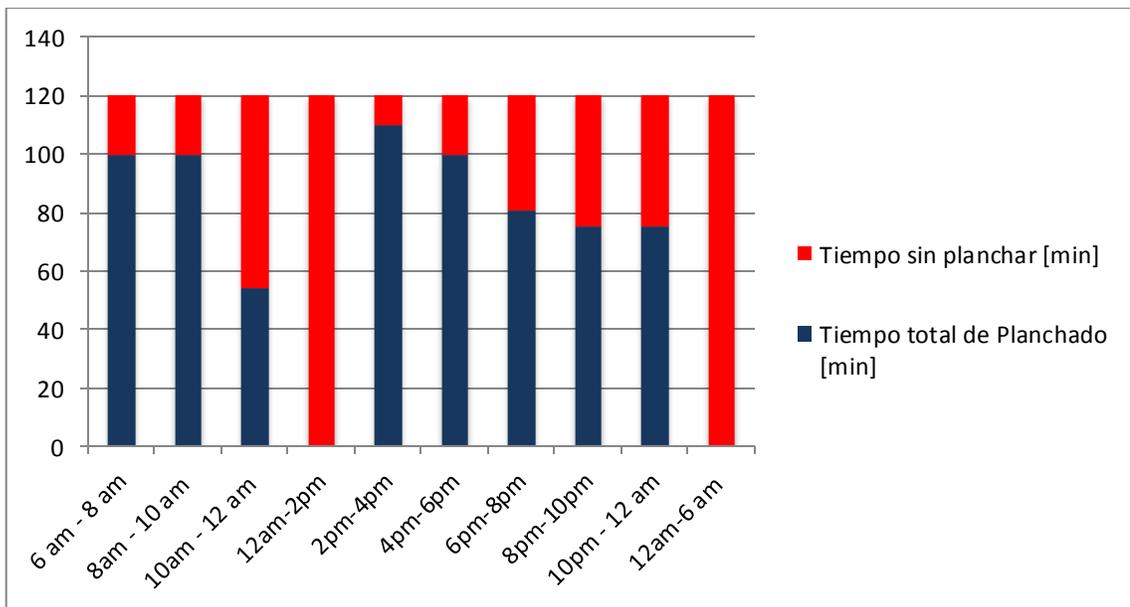


Figura 77. Gráfica de consumo de vapor de plancha industrial

### Tiempo de consumo de vapor de secadora industrial.

El tiempo de trabajo de la secadora industrial es indistintamente establecido por cada operador el cual debe verificar en un lapso de tiempo alrededor de 20 minutos si la ropa se encuentra seca, caso contrario incrementar el tiempo de funcionamiento de la secadora hasta volver a verificar que la ropa se encuentra seca.

Estos tiempos de secado son manejados indistintamente por cada operador.

## **4.5.2. Planeación del control de vapor en las máquinas de lavandería.**

### **4.5.2.1. Control de vapor en plancha Industrial.**

- Control con diferentes tiempos de corte y apertura de vapor, dependiendo de la hora del día en la línea principal de vapor de la plancha industrial.
- Recubrimiento con cañuela de vibra de vidrio en la tubería principal de vapor para conservar la temperatura y evitar el condensado dentro de la misma.

### **4.5.2.2. Control de vapor en secadora industrial.**

- Control de apertura y corte de vapor estableciendo un tiempo constante de secado durante todo el día.
- Recubrimiento con cañuela de vibra de vidrio en la tubería principal de vapor para conservar la temperatura y evitar el condensado dentro de la misma.

## **4.5.3. Diseño del diagrama de interconexión del control en las máquinas de lavandería.**

En la figura 78 se muestra las conexiones eléctricas del control de uso de vapor en las máquinas de lavandería en la clínica NOVACLINICA S.A.

Dentro de este diagrama, se debe destacar los siguientes elementos:

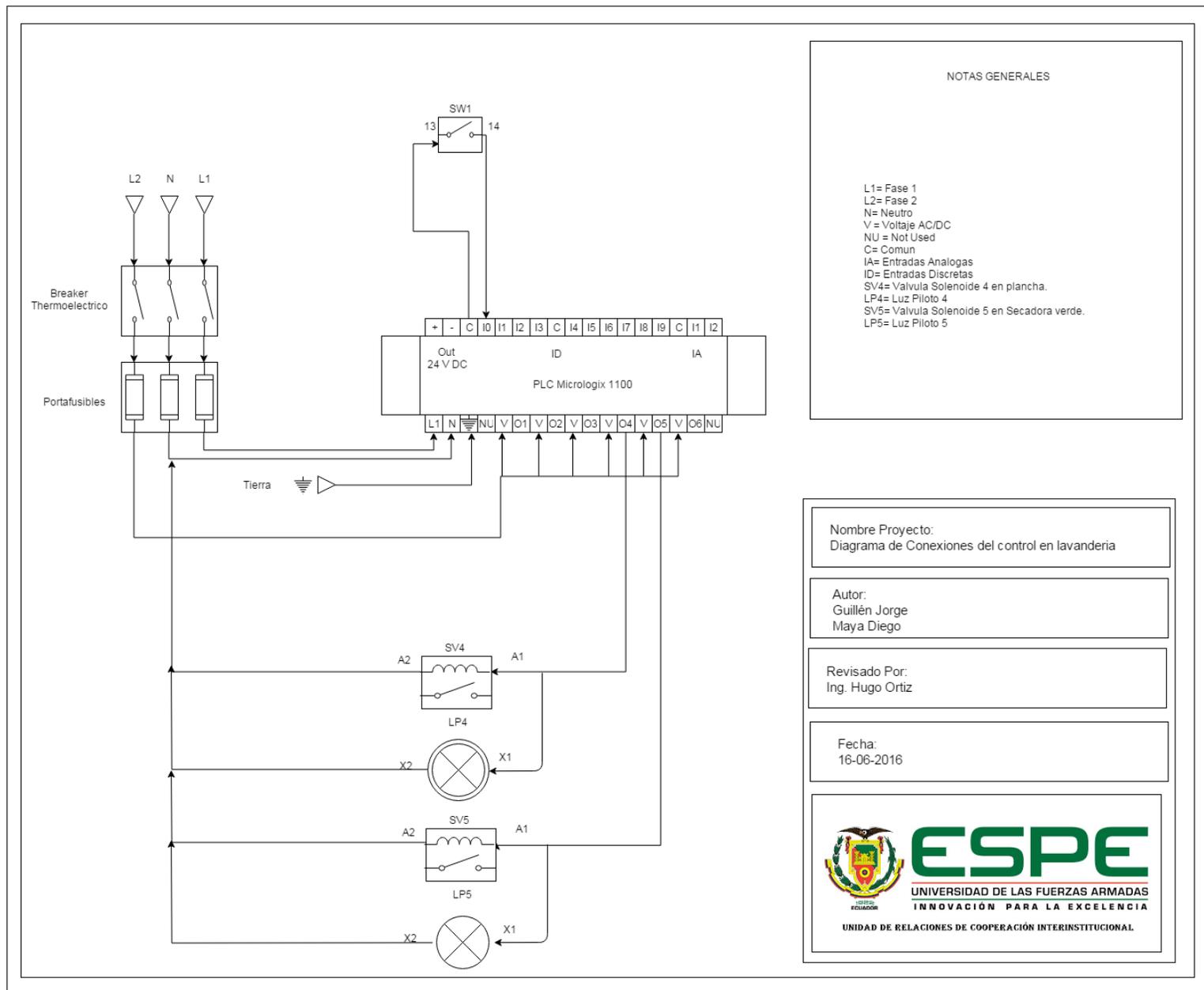
SW1: Switch de encendido del control principal.

SV4: Electroválvula solenoide de paso y corte de vapor en la línea de ingreso de vapor en la plancha industrial

LP4: Luz piloto que indica si se encuentra activo el paso de vapor hacia la plancha industrial.

SV5: Electroválvula solenoide de paso y corte de vapor en la línea de ingreso de vapor en la secadora industrial

LP5: Luz piloto que indica si se encuentra activo el paso de vapor hacia la secadora industrial.



NOTAS GENERALES

L1= Fase 1  
 L2= Fase 2  
 N= Neutro  
 V = Voltaje AC/DC  
 NU = Not Used  
 C= Comun  
 IA= Entradas Analogas  
 ID= Entradas Discretas  
 SV4= Valvula Solenoide 4 en plancha.  
 LP4= Luz Piloto 4  
 SV5= Valvula Solenoide 5 en Secadora verde.  
 LP5= Luz Piloto 5

Nombre Proyecto:  
 Diagrama de Conexiones del control en lavanderia

Autor:  
 Guillén Jorge  
 Maya Diego

Revisado Por:  
 Ing. Hugo Ortiz

Fecha:  
 16-06-2016



Figura 78. Interconexiones eléctricas -Control de vapor en máquinas de lavandería.

## **4.6. DISEÑO DEL CONTROL DE ACTIVACIÓN DE LA CALDERA.**

### **4.6.1. Diagnóstico del control de activación de caldera.**

El control de activación de caldera, se lo tiene que tratar muy a parte de los otros controles ya que por motivos de seguridad se recomienda que dicho control este aislado del tablero de control general, es por eso que los trabajos que se deben realizar es para monitorear el funcionamiento de la caldera.

#### **Señal de activación de la caldera.**

Por motivos de seguridad el control de encendido del quemador se lo realizará desde un tablero auxiliar donde se encuentra en controlador de llama Honeywell.

#### **Activación y desactivación de la caldera por parámetros de trabajo.**

Los controladores de presión de la caldera (presuretroles) son los encargados de controlar la activación y desactivación de la misma dependiendo de los valores mínimos (60 psi) y máximos (100 psi) de presión establecidos.

#### **Tiempos de funcionamiento de la caldera.**

Monitorear el tiempo de funcionamiento de la caldera va a permitir estadísticamente conocer los tiempos de encendido de la misma, estos tiempos va ayudar a Novaclinica S.A a realizar horarios para justificar los mantenimientos preventivos.

### **4.6.2. Planeación del monitoreo del encendido y apagado de caldera.**

Por motivos de seguridad, el control de activación y desactivación de la caldera se lo realiza desde el equipo Honeywell R8184 G, es así que se realizará una monitorización de la misma como se muestra en la figura 79, logrando llevar las señales de encendido hacia una pantalla HMI que pueda indicar al operador el estado de la caldera.

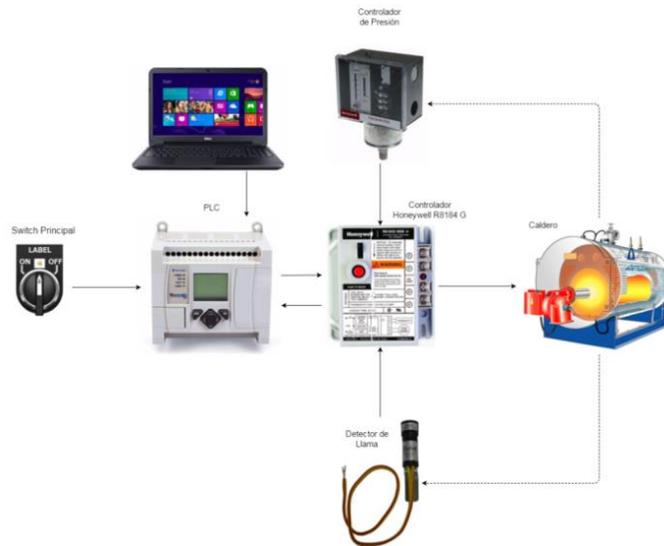


Figura 79. Control Encendido de caldera.

### Indicadores de tiempos de operación.

Es necesario realizar un monitoreo de control de tiempos de encendido de la caldera, en el cual se indique diariamente cuanto tiempo en total estuvo prendida la caldera durante todo el día, este monitoreo ayudará a realizar tablas estadísticas de funcionamiento de la caldera ( requerimiento pedido por el cliente ).

#### 4.6.1. Diseño de conexiones del control de activación de la caldera.

En la figura 80 se muestra las conexiones eléctricas del control de activación de caldera en la clínica NOVACLINICA S.A.

Dentro de este diagrama, debemos destacar los siguientes elementos:

SW1: Switch de activación de tablero de control.

SW4: Botón emergencia, este botón para todos los controles y desactiva la caldera.

SF: Switch Fire de Honeywell, es la señal de activación de caldera, esta señal nos ayudará para monitorizar si la caldera se encuentra activado o desactivado y así determinar el tiempo total de encendido de la caldera. .

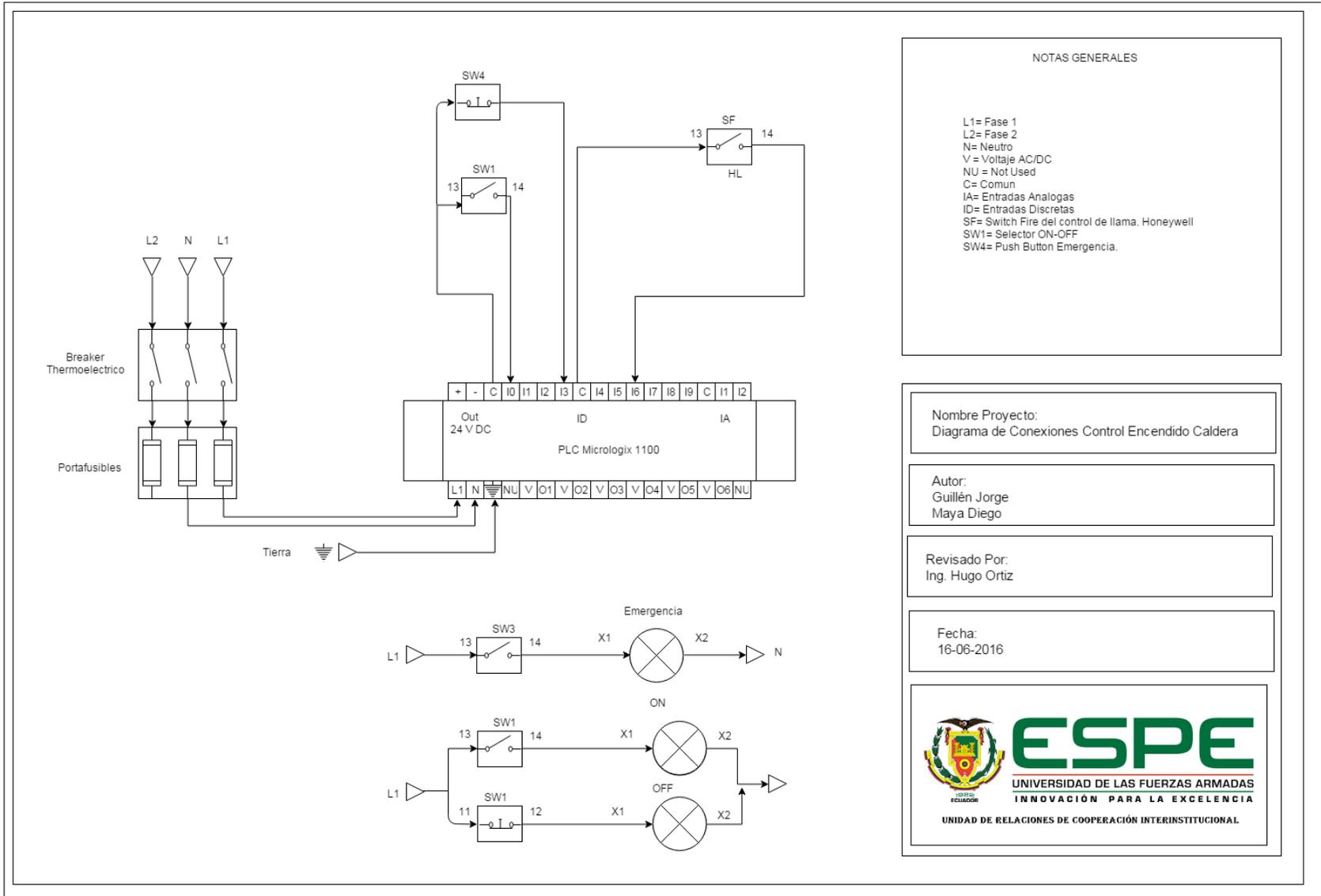


Figura 80. Interconexiones eléctricas -Control encendido caldera

## 4.7. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS.

### 4.7.1. Actuadores y preactuadores del sistema de control.

Los elementos actuadores que son necesarios para el funcionamiento del nuevo sistema de control se muestran en la tabla 13, en donde se puede encontrar la descripción, las características y una imagen del elemento a utilizar.

**Tabla 13.**  
**Actuadores del sistema de control.**

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.
<b>Electroválvula de tipo pistón, una guía.</b>  	Solenoide 110(V) AC, presión de trabajo 150 (PSI), conexión a la tubería de ½".	Elemento a utilizar en la línea de entrada de vapor del tanque de agua caliente N1.	6
		Elemento a utilizar en la línea de entrada de vapor del tanque de agua caliente N2.	
		Elemento a utilizar en la línea de entrada de vapor de la secadora blanca.	
		Elemento a utilizar en la línea de entrada de vapor de la secadora verde.	
		Elemento a utilizar en la línea de entrada de vapor del esterilizador.	
		Elemento a utilizar en la línea de entrada de vapor de la plancha.	

Los elementos pre-actuadores del sistema se encuentran en la tabla 14, estos elementos son los que van ayudar para la activación y desactivación de bombas.

**Tabla 14.**  
Pre actuadores del sistema de control.

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.
<b>Contactores</b> 	Bobina activación 110(V) AC, contactos 10(A).	Elemento a utilizar para el encendido de la caldera y la activación de las bombas centrifugas.	3

#### 4.7.2. Elementos de mando y control.

- **Elementos de Mando.**

Los elementos de mando que se muestran en la tabla 15, son elementos que se van a instalar en el tablero de control con su señalización apropiada para que exista una identificación rápida de cada uno de ellos, estos elementos son los que deben incorporarse al nuevo sistema de mando.

**Tabla 15.**  
Descripción de elementos de mando.

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.
<b>Switch</b> 	110 (V) AC 1 Contacto NO 1 Contacto NC	Selector de dos posiciones para encendido y apagado del sistema.  Selector de dos posiciones para encendido y apagado de las bombas centrifugas.  Selector de dos posiciones para seleccionar modo de Trabajo de las bombas.	3

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.
<b>Pulsador (Emergencia )</b>	110 (V) AC NC	Pulsador de paro de emergencia.	1



- **Elementos de Control.**

Los elementos de control que se muestran en la tabla 16, son elementos que se van a instalar en los diferentes sub-procesos para lograr transmitir la información de las variables controladas en las cuales se necesita un distinto tipo de control sobre cada una de ellas.

**Tabla 16.**  
**Descripción de elementos de control.**

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCION	CANTIDAD.
<b>Sensor de temperatura. PT-100 tipo B</b>	0 a 100 grados centígrados.	Elemento a utilizar en la línea de salida de agua caliente del tanque N1.  Elemento a utilizar en la línea de salida de agua caliente del tanque N2.	2



ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCION	CANTIDAD.
<b>Presuretrol</b>	0-150 (PSI)	Elemento a utilizar en la línea de entrada de vapor del esterilizador.	1



#### 4.7.3. Elementos de visualización.

Los elementos de visualización se muestran en la tabla 17, estos elementos ayudan a identificar los estados de cada uno de los procesos a controlar.

**Tabla 17.**  
**Descripción de elementos de control.**

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCION	CANTIDAD.
<b>Luz Piloto</b>	110 (VAC) Diámetro 30 mm Rojo	Luz indicadora de apagado de la caldera	1



ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCION	CANTIDAD.
<b>Luz Piloto</b> 	110 (VAC) Diámetro 30 mm verde	Luz indicadora de encendido de la caldera, bombas y líneas de vapor.	9

#### 4.7.4. Elementos de protección.

**Tabla 18.**  
Descripción elementos de protección.

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.
<b>Breaker</b> <b>Termo magnético</b> 	Trifásico 10 (A).	Elemento a utilizar para la conexión de la alimentación eléctrica.	1
<b>Portafusibles</b> 	Trifásico	Elementos a utilizar para portar los fusibles.	1

ELEMENTO	CRACTERISTICAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.
<b>Fusibles</b>	10 (A) 50 mm Largo 10 mm radio cerámica	Elementos a utilizar para la protección de elementos del circuito de control y potencia.	3



#### 4.7.5. Controlador lógico programable – PLC.

Definidos los procesos, elementos, y variables que intervienen para la modernización del sistema de control; se analiza las entradas (variables o señales eléctricas a medir o monitorear) y las salidas (variables a controlar) para dimensionar el autómata programable como se muestra en la tabla 19 el cual será el elemento principal del sistema de mando y control.

**Tabla 19.**  
**Descripción de variables del controlador.**

ENTRADAS	DESCRIPCIÓN
<b>Switch</b>	Selector de dos posiciones para encendido y apagado del sistema, entrada discreta.
<b>Switch</b>	Selector de dos posiciones para modo manual automático de las bombas centrifugas, entrada discreta.
<b>Switch</b>	Selector de dos posiciones para encendido y apagado de las bombas centrifugas, entrada discreta.
<b>Pulsador</b>	Pulsador de paro de emergencia, entrada discreta.
<b>Presuretrol</b>	Control de presión en el esterilizador, entrada discreta.
<b>Nivel alto de agua</b>	Entrada discreta.
<b>Nivel bajo de agua</b>	Entrada discreta.
<b>Sensor de temperatura 1</b>	Entrada análoga 0-10 (V).
<b>Sensor de temperatura 2</b>	Entrada análoga 0-10 (V)

<b>Control de Llama</b>	Señal de activación de controlador de llama honeywell
<b>SALIDAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Activación electroválvula 1</b>	Elemento en la línea de vapor tanque de agua caliente N1. Salida a relé 110 (V) AC.
<b>Activación electroválvula 2</b>	Elemento en la línea de vapor tanque de agua caliente N2. Salida a relé 110 (V) AC.
<b>Activación electroválvula 3</b>	Elemento en la línea de vapor del esterilizador. Salida a relé 110 (V) AC.
<b>Activación electroválvula 4</b>	Elemento en la línea de vapor en plancha de ropa. Salida a relé 110 (V) AC.
<b>Activación electroválvula 5</b>	Elemento en la línea de vapor de la secadora verde. Salida a relé 110 (V) AC.
<b>Activación de bombas centrifugas</b>	Salida a relé 110 (V) AC.

Por lo tanto el PLC que cumple con las especificaciones y el que se definió para este proyecto es:

- Micrologix 1100, figura 81.



**Figura 81. Controlador Lógico Programable**

Se escogió este PLC ya que sus características cumplen con los requerimientos asignados.

- Entradas discretas :8
- Entradas Análogas :2
- Salidas a Relé 110v AC :6

#### **4.8. DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL.**

El tablero de control que posee NOVACLINICA S.A se encuentra desorganizado y la falta de normativas en sus conexiones eléctricas dificulta el manteniendo correctivo al momento de una falla.

El realizar un nuevo tablero eléctrico permitirá organizar todos los elementos del sistema de control, distinguir la parte de potencia y la parte de control y una accesibilidad directa del control al operador.

El nuevo tablero eléctrico estará basado en normas eléctricas vigentes.

“El Tablero eléctrico realiza una función esencial para satisfacer las necesidades de seguridad de bienes y personas y de la disponibilidad de la energía eléctrica: su realización no debe improvisarse” (Schneider-electric)

##### **4.8.1. Norma IEC 60439-1.**

La norma IEC 60439-1 indica unas reglas comunes de realización de tableros para responder a los criterios de seguridad y de disponibilidad exigidos por la aplicación.

Garantiza el nivel mínimo de seguridad para bienes y personas

Rige los conjuntos de equipos de baja tensión para distribución de potencia y mando y control.

El tablero eléctrico de baja tensión deberá brindar las características mediante los 7 ensayos basados en la norma IEC 60439-1. (Schneider-electric)

- Límites de calentamiento
- Propiedades dieléctricas
- Resistencia a los cortocircuitos
- Eficacia del circuito de protección
- Distancias de aislamiento y línea de fuga
- Funcionamiento mecánico
- Índice de protección

La protección IP de los tableros eléctricos, vienen caracterizados por un código alfanumérico, y dependiendo de la letra y el número, su grado de protección cambia, a continuación se muestra el código alfanumérico en las siguientes figuras.

Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 50 mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 50 mm.
2	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 12 mm.	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 12 mm.
3	Protegida contra cuerpos sólidos de más de 2,5 mm.	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 2,5 mm.
4	Protegida contra cuerpos sólidos de mas de 1 mm.	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 1 mm.
5	Protegida contra la penetración de polvo	No se impide totalmente la entrada de polvo, pero sin que el polvo entre en cantidad suficiente que llegue a perjudicar el funcionamiento satisfactorio del equipo.
6	Totalmente estanco al polvo	Ninguna entrada de polvo.

Figura 82. Grados de protección.

Fuente: (Schneider-electric)

Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Tipo de protección proporcionada por la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra la caída vertical de gotas de agua	La caída vertical de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales
2	Protegida contra la caída de gotas de agua con una inclinación máxima de 15°	Las caídas verticales de gotas de agua no deberán tener efectos perjudiciales cuando la envolvente está inclinada hasta 15° con respecto a la posición normal
3	Protegida contra la lluvia fina (pulverizada)	El agua pulverizada de lluvia que cae en una dirección que forma un ángulo de hasta 60° con la vertical, no deberá tener efectos perjudiciales
4	Protegida contra las proyecciones de agua	El agua proyectada en todas las direcciones sobre la envolvente no deberá tener efectos perjudiciales
5	Protegida contra los chorros de agua	El agua proyectada con la ayuda de una boquilla, en todas las direcciones, sobre la envolvente, no deberá tener efectos perjudiciales

Figura 83. Grados de protección indicados por la segunda cifra característica.

Fuente: (Schneider-electric)

Letra	La envolvente impide la accesibilidad a partes peligrosas con:
A	Una gran superficie del cuerpo humano tal como la mano (pero no impide una penetración deliberada). <i>Prueba con: Esfera de 50 mm.</i>
B	Los dedos u objetos análogos que no excedan en una longitud de 80 mm. <i>Prueba con: Dedo de <math>\phi 12</math> mm y L= 80 mm</i>
C	Herramientas, alambres, etc., con diámetro o espesor superior a 2,5 mm. <i>Prueba con: Varilla de <math>\phi 2,5</math> mm y L= 100 mm</i>
D	Alambres o cintas con un espesor superior a 1 mm. <i>Prueba con: Varilla de <math>\phi 1</math> mm y L= 100 mm</i>

Figura 84. Descripción de la protección proporcionada por las letras adicionales.

Fuente: (Schneider-electric)

#### 4.8.2. Distribución de elementos internos.

Para el diseño de distribución de los elementos internos del tablero eléctrico mostrados en la figura 86, se ha tomado en cuenta, lo elementos de mando y control y elementos de protección mostrados en la figura 84 y figura 85 respectivamente.

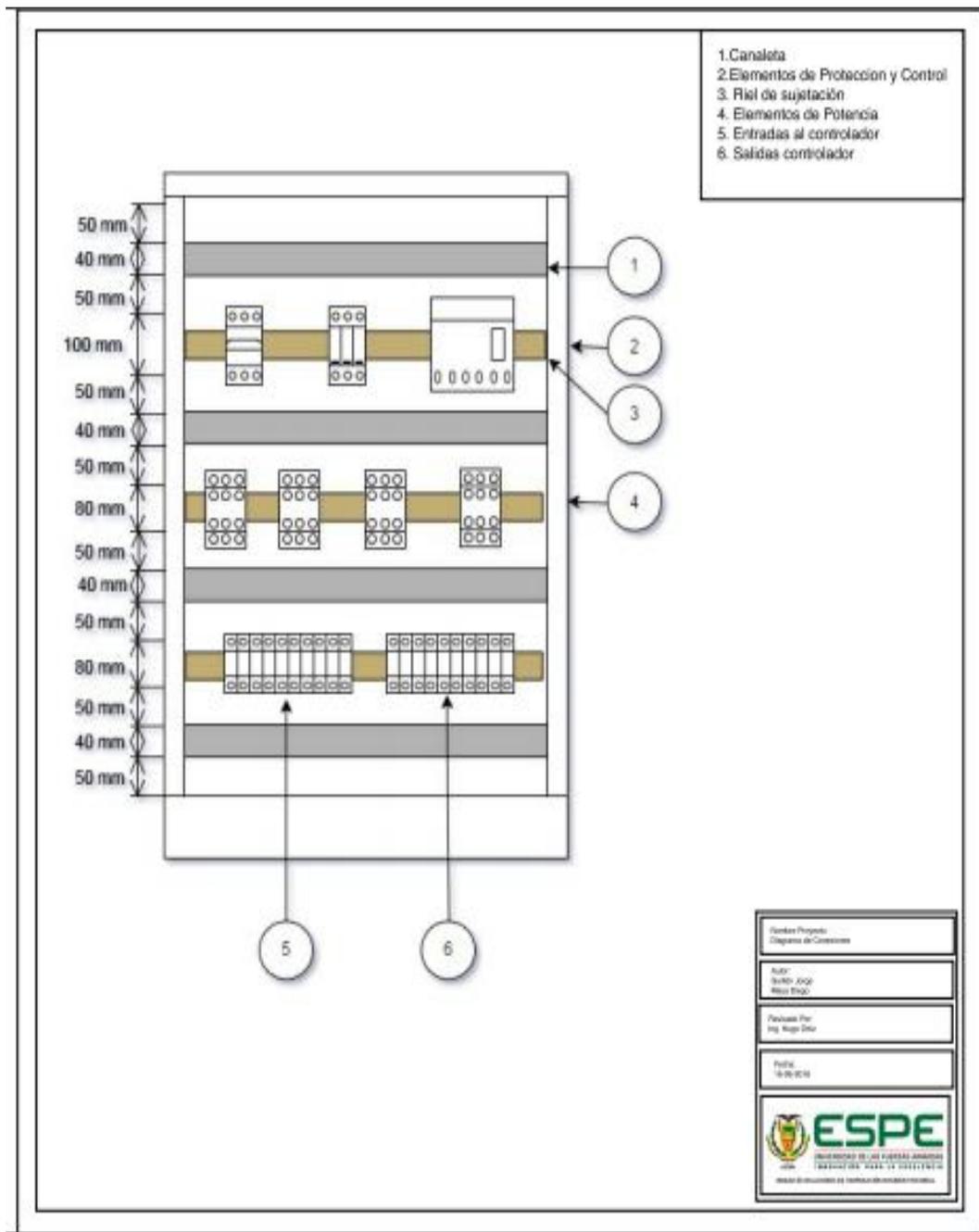


Figura 85. Distribución de elementos internos.

### 4.8.3. Distribución de elementos externos.

Para el diseño de distribución de los elementos externos del tablero eléctrico mostrados en la figura 86, se ha tomado en cuenta, lo elementos de

mando, visualización y control mostrados en la Tabla 18 y Tabla 19 respectivamente.

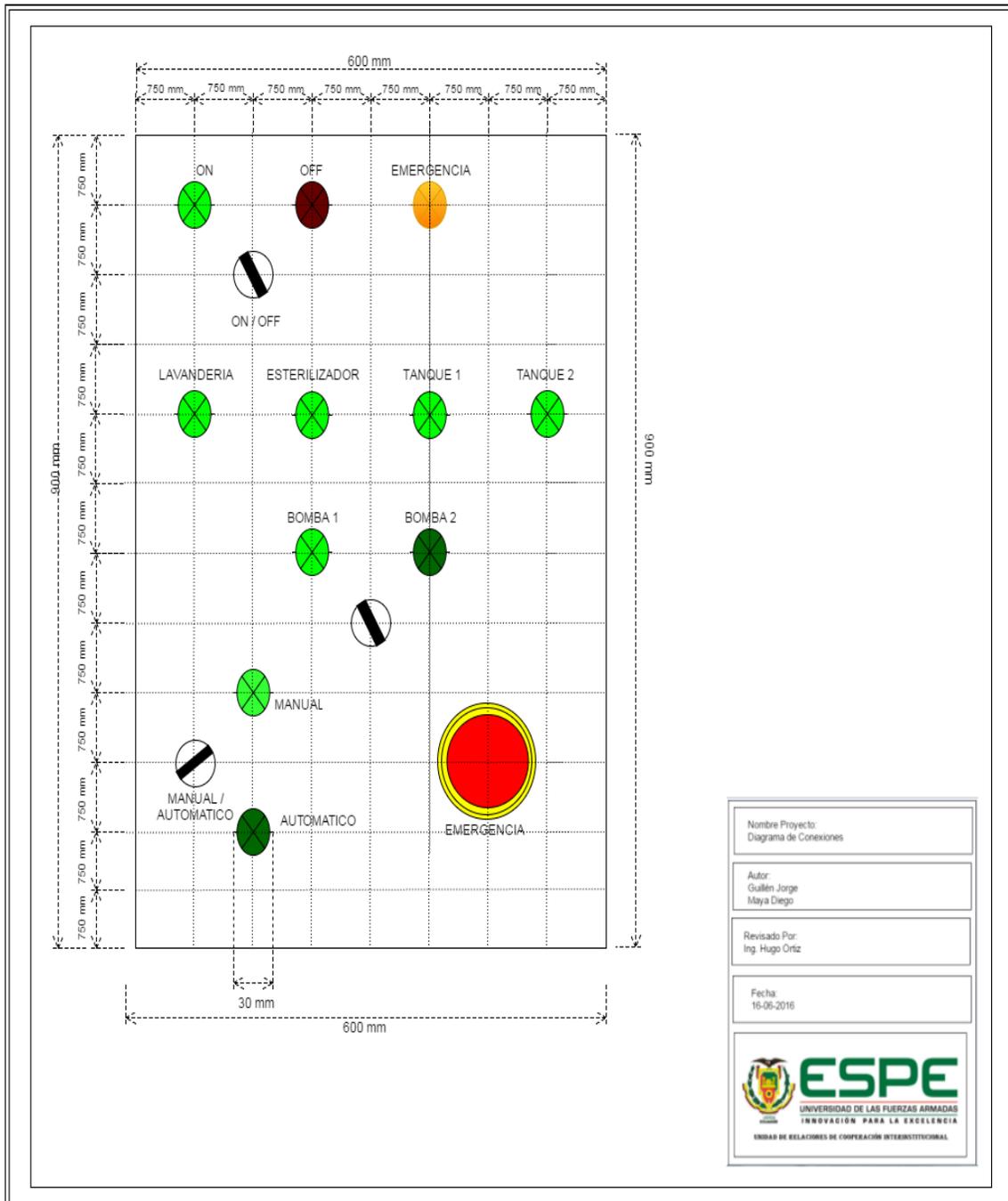


Figura 86. Distribución de elementos externos.

## 4.9. DISEÑO DE INTALACIONES ELÉCTRICAS.

### 4.9.1. Dimensionamiento de cable.

El cable a utilizar dentro del tablero de Control se lo definirá mediante la cantidad de corriente que circula en cada conductor producido por la demanda de potencia eléctrica de cada elemento actuador, siendo así para la interconexión eléctrica del tablero, interconexión hacia las electroválvulas e interconexión hacia las bombas de agua.

### 4.9.2. Planeación de conexiones eléctricas en tablero eléctrico.

- **Conductor eléctrico.**
  - Elementos de Control: 0,5 [A]
  - Elementos de potencia –Relés Térmicos-bobina Activación: 0,5 [A]
  - Elementos de Potencia - Relés Térmicos - Contactores: 6,5 [A]
  - Elementos de Potencia –Electroválvula: 2 [A]

La selección de los conductores para cada parte de la instalación se lo puede observar en la figura 87.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Figura 87. Calibre de conductor Vs Corriente de Consumo.

Fuente: (VOLTECK).

- **Aislamiento eléctrico.**

El conductor eléctrico posee un aislamiento o un recubrimiento plástico para evitar que éstos hagan corto circuito al entrar en contacto con algún otro alambre o algún objeto metálico, que den un choque eléctrico o electrocuten a alguna persona. (VOLTECK)

Los nombres de los cables indican el tipo de aislamiento que tienen y son abreviaciones que vienen del inglés, como se lo muestra en la tabla 20.

**Tabla 20.**  
**Siglas aislamiento conductores (VOLTECK).**

<b>T ( Thermoplastic)</b>	<b>Aislamiento termoplástico (lo poseen todos los cables aislados).</b>
<b>H ( Heat resistant)</b>	Resistente al calor hasta 75 ° centígrados (167° F).
<b>HH ( Heat resistant)</b>	Resistente al calor hasta 90° centígrados (194° F).
<b>W ( Water reisstant)</b>	Resistente al agua y a la humedad.
<b>LS ( Low smoke)</b>	Significa que el cable tiene baja emisión de huos y bajo contenido de gas acido ( cumple con la NOM-063-SCFI).

#### 4.9.3. Dimensionamiento.

- **Elementos de control.**

El conductor a utilizar para las interconexiones eléctricas de los elementos de control será:

- Calibre: 20 AWG
- Aislante : TW

- **Dimensionamiento elementos de potencia.**

El conductor a utilizar para las interconexiones eléctricas de los elementos de potencia será:

Calibre: 14 AWG

Aislante: TW

- **Consideraciones de dimensionamiento.**

Todo el dimensionamiento del cableado eléctrico se realizó con sobredimensionamiento del +20 %.

- **Nota:** En el anexo F se muestra un ejemplo del cálculo del calibre del conductor, un ejemplo mostrado paso a paso como aplicar todo lo anterior mencionado.

## **4.10. DISEÑO DE SOFTWARE.**

### **4.10.1. Diagrama de flujo del control de temperatura de los tanques de agua caliente.**

En la figura 88 se muestra paso a paso como se ejecutaría las acciones del programa del control de temperatura en los tanques de agua caliente.

En la figura 90 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de selección de temperatura de trabajo en los tanques de agua caliente.

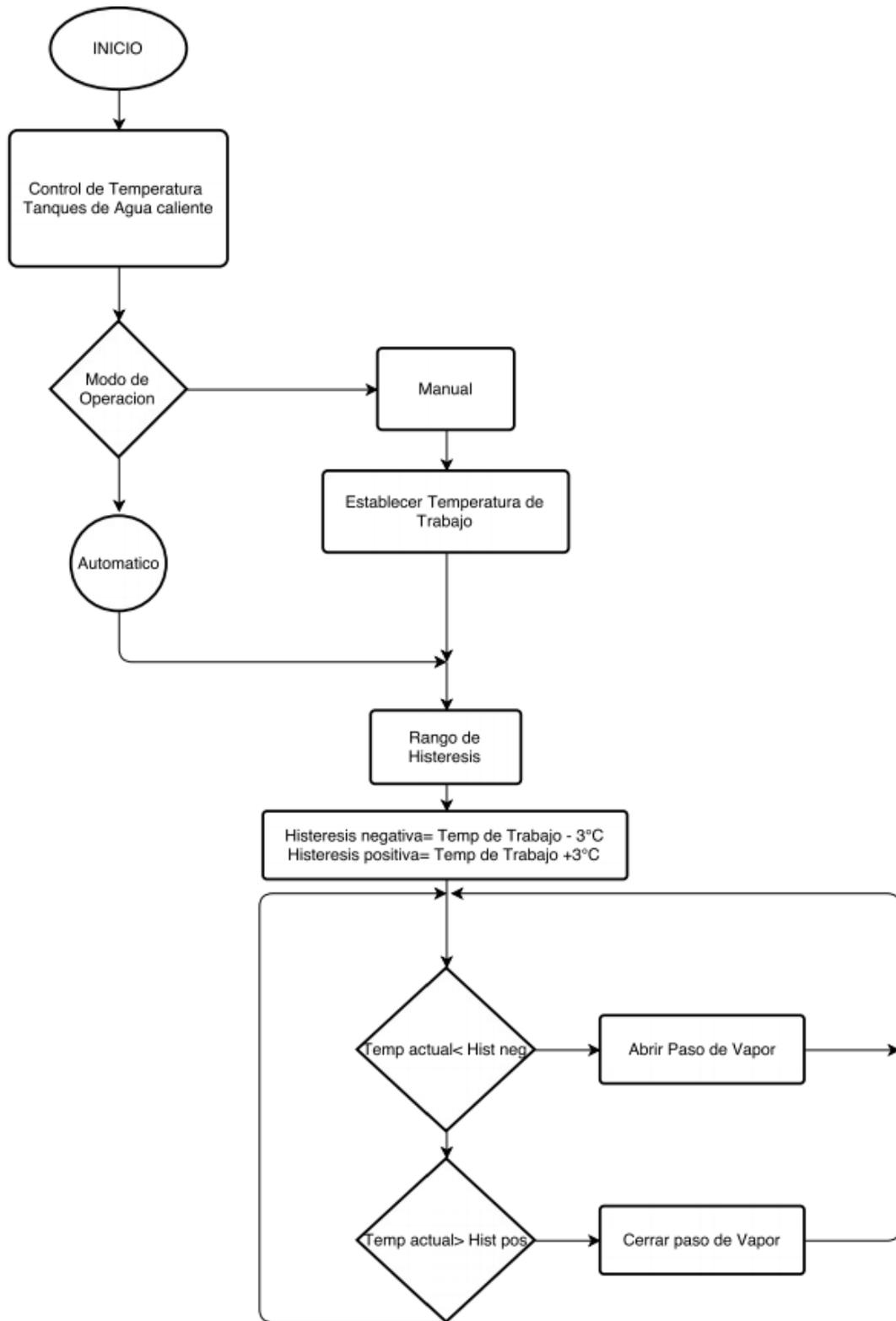


Figura 88. Diagrama de flujo del control de temperatura.

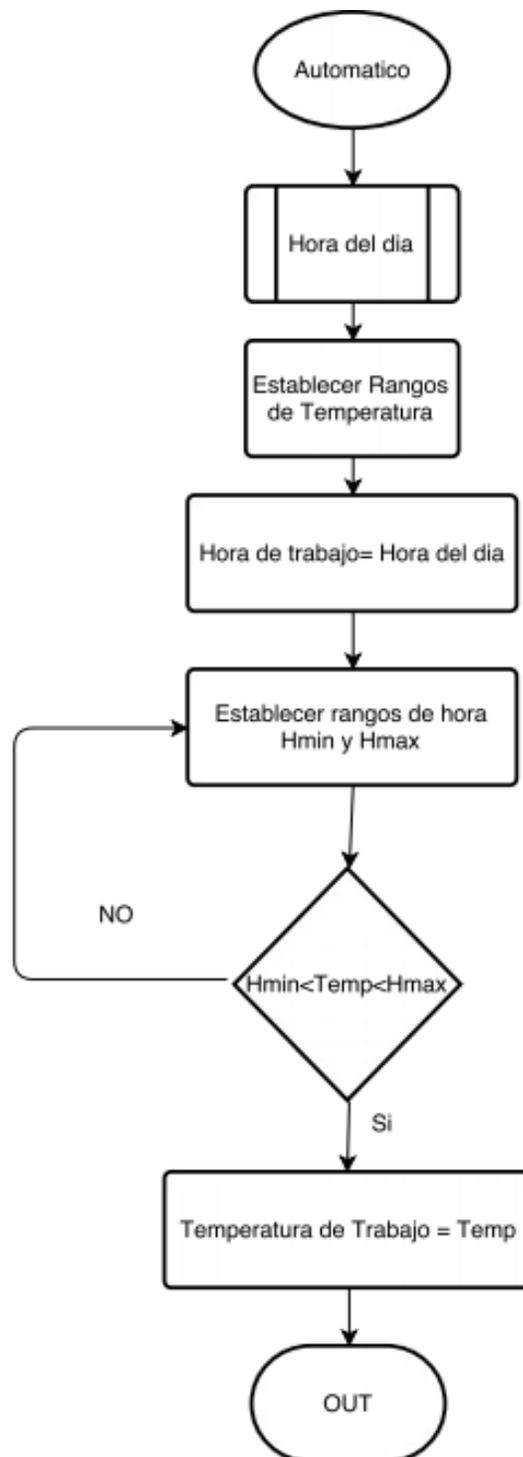


Figura 89. Diagrama de flujo de la subrutina automático.

#### 4.10.2. Diagrama de flujo del control de activación de las bombas de agua.

En la figura 90 se muestra paso a paso como se ejecutaría las acciones del programa del control de activación de las bombas de agua ; en la figura 4-36 se muestra el diagrama de flujo del contador de horas de trabajo (horómetro) de cada bomba.

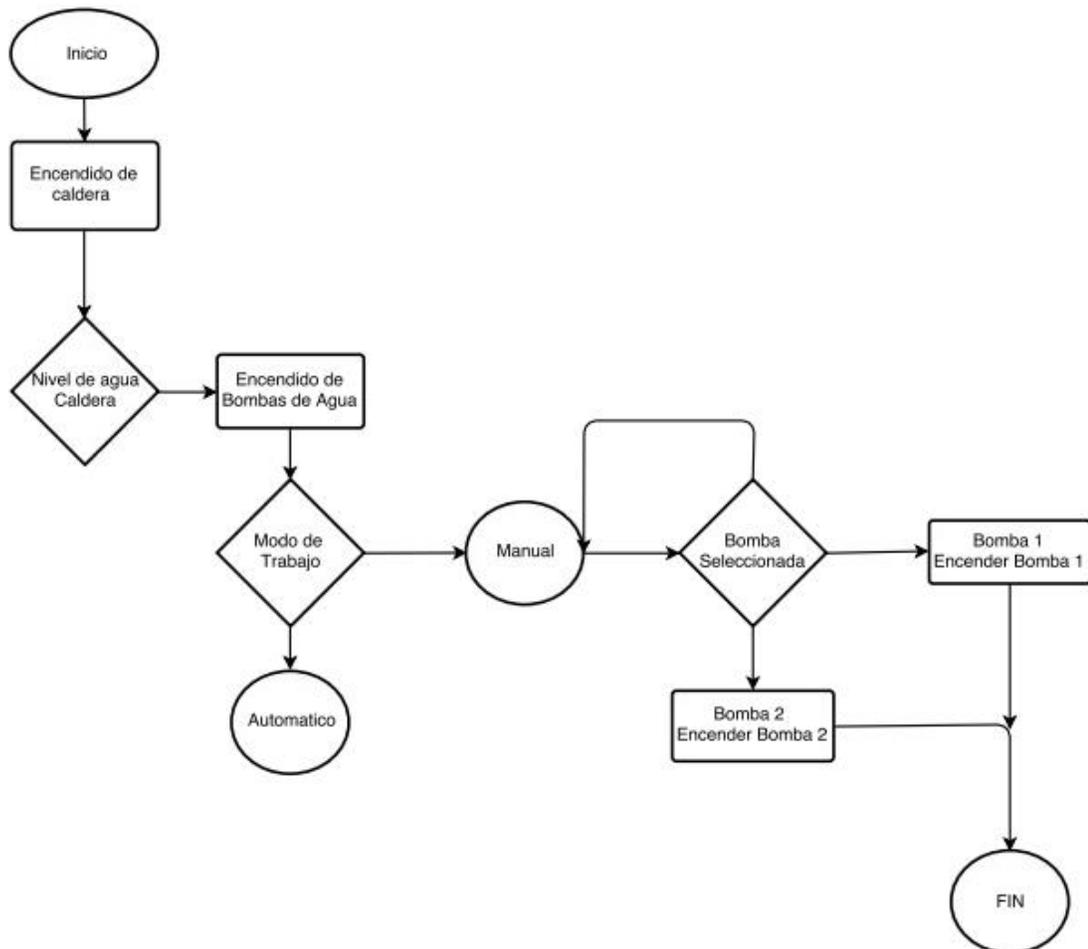


Figura 90. Diagrama de flujo del programa principal del control de activación de las bombas.

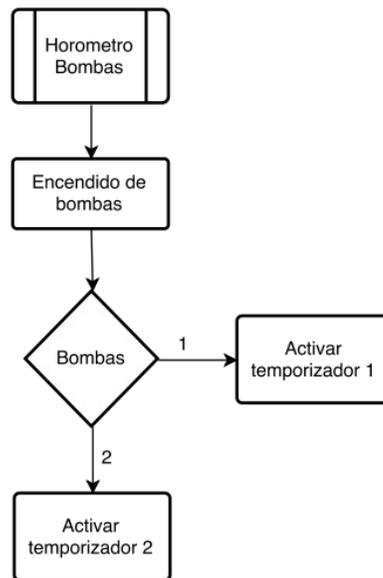


Figura 91. Diagrama de flujo del horómetro de las bombas.

En la figura 92 se muestra la subrutina del modo automático de trabajo de las bombas de agua.

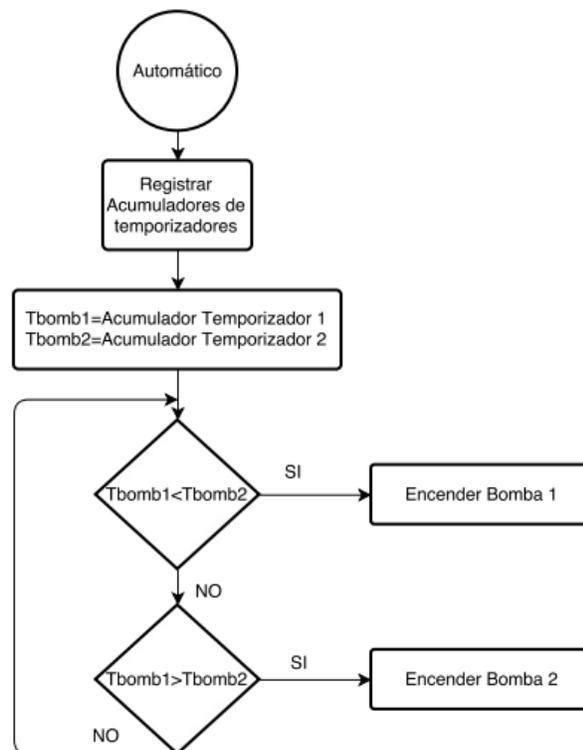


Figura 92. Diagrama de flujo Del modo automático de las bombas.

### 4.10.3. Diagramas de flujo del control de presión en el esterilizador.

En la figura 93 se muestra el diagrama de flujo del control de presión, en el cual se muestra paso a paso cuales son las acciones a ejecutar dependiendo de cada una de las condiciones consideradas para el control de presión en el esterilizador.

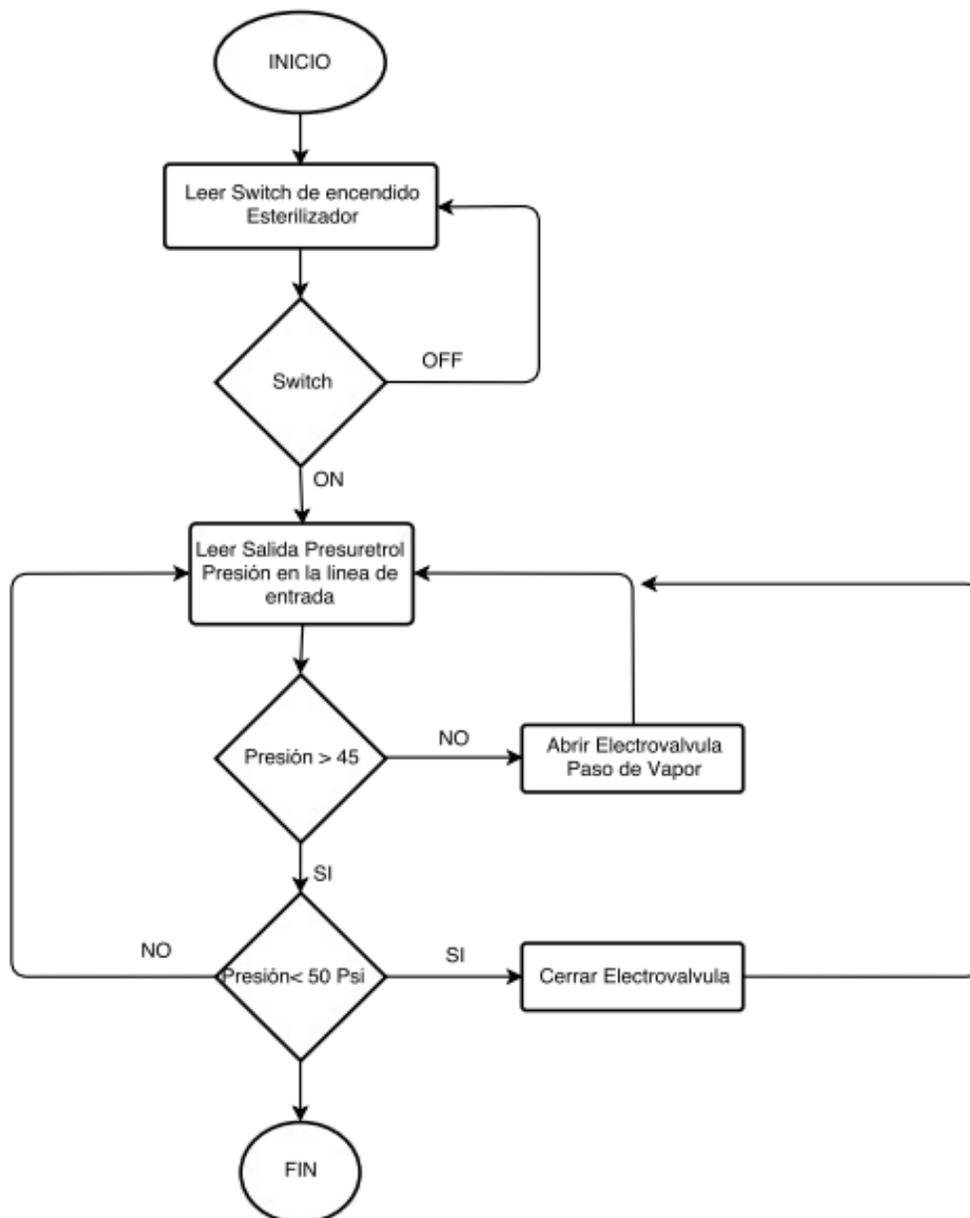


Figura 93. Diagrama de flujo del control de presión en esterilizador.

#### 4.10.4. Diagrama de flujo del control en las máquinas del área de lavandería.

En la figura 94 se muestra el diagrama de flujo del control de consumo de vapor en la plancha industrial y en la secadora verde del área de lavandería.

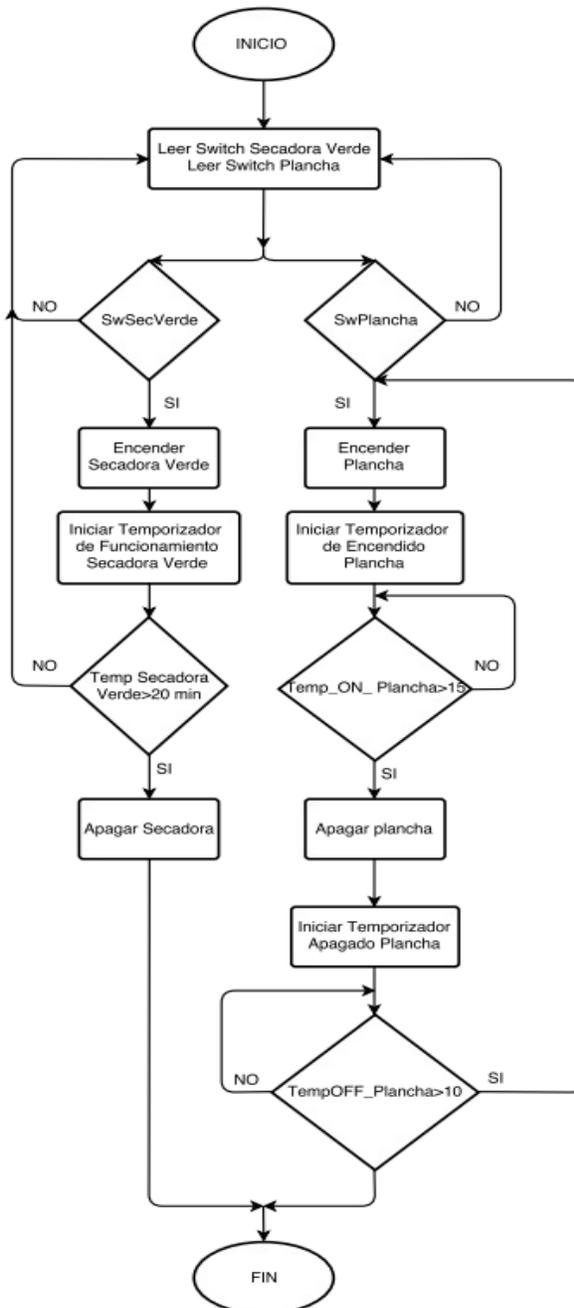


Figura 94. Diagrama de flujo del control de vapor en máquinas de lavandería.

#### 4.10.5. Diagrama de flujo del control de activación de la caldera.

En la figura 95 se muestra el diagrama de flujo del programa del control de encendido de la caldera, donde se puede visualizar de manera general todas las acciones dependiendo de cada condición.

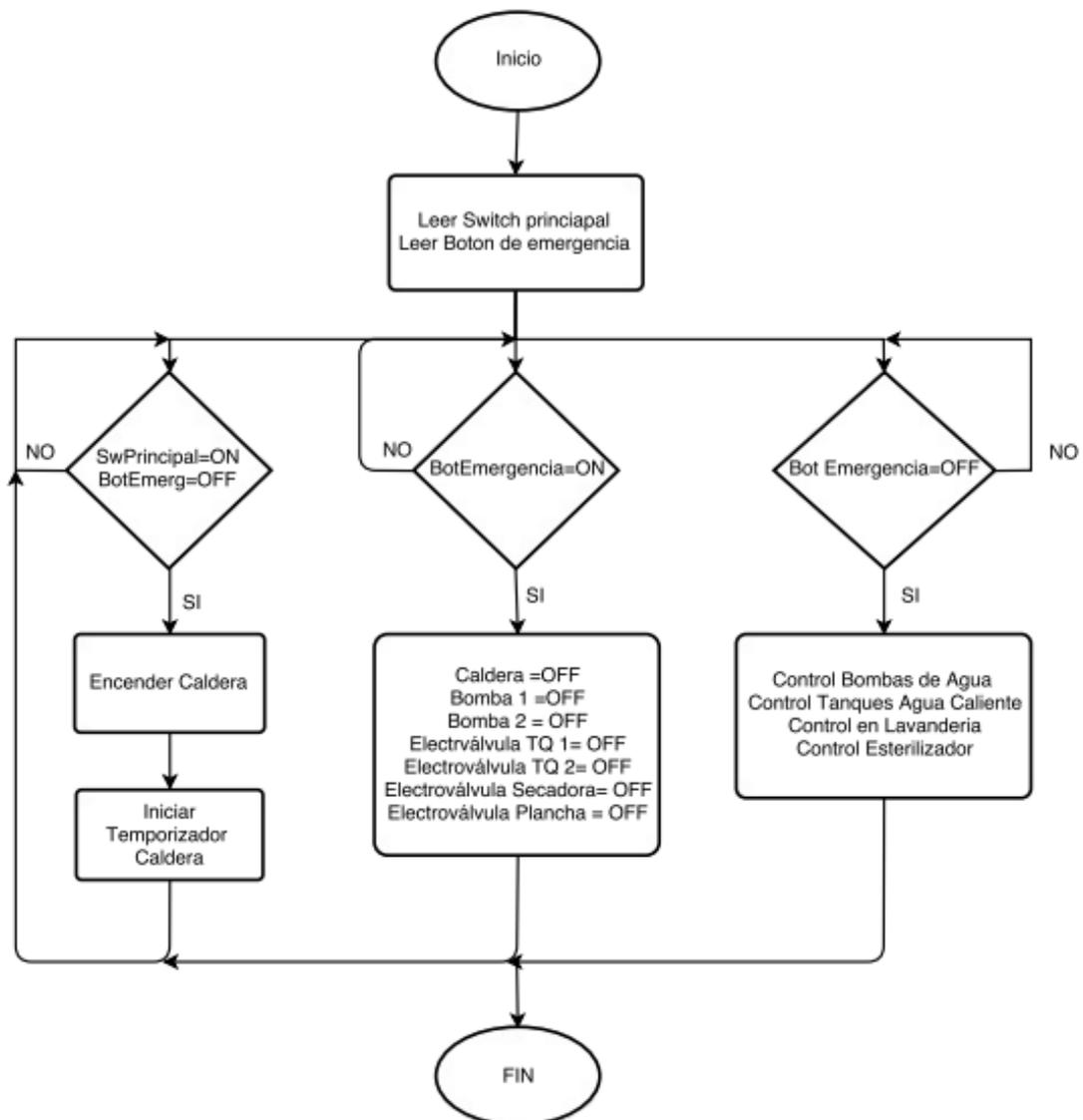


Figura 95. Diagrama de flujo - Control de activación de caldera.

## 4.11. DISEÑO MECÁNICO.

### 4.11.1. Selección de tubería.

Para las instalaciones de los sensores, actuadores (electroválvulas), presuretroles, se necesita ocupar una tubería la cual brinde seguridad y cumpla con los requisitos de funcionamiento como son temperatura, presión y flujo de vapor dentro de la misma.

Las instalaciones y conexiones de tubería de vapor se lo realiza con tubería de acero negro, existen diferentes tipos de tubería de acero negro, dependiendo del uso que se lo va a dar.

Al transportar vapor a temperaturas mayores a 250 ° C a una presión que varía de 60 psi a 100 psi se realiza la selección de tubería como se lo muestra en la figura 96.

<b>ASTM A 53 / COVENIN 3335</b>															
<b>DIMENSIONES, PESOS Y PRESIONES DE PRUEBA</b>															
Diámetro			Espesor de Pared		Sched.	Peso Nominal Tubo Liso				Peso Nominal Tubo Rosc./Acop.				Presión de Prueba	
Nominal	Externo					Negro		Galvanizado		Negro		Galvanizado		Grado A	Grado B
pulg	pulg	mm	pulg	mm		lb/pie	kg/m	lb/pie	kg/m	lb/pie	kg/m	lb/pie	kg/m	psi	psi
1/8	0.405	10,3	0.088	1,73	40	0.24	0.37	0.27	0.40	0.24	0.37	0.27	0.40	700	700
			0.095	2,41	80	0.31	0.47	0.33	0.50	0.32	0.48	0.33	0.51	850	850
1/4	0.540	13,7	0.088	2,24	40	0.42	0.63	0.45	0.67	0.42	0.63	0.45	0.67	700	700
			0.119	3,02	80	0.54	0.80	0.56	0.83	0.54	0.80	0.56	0.83	850	850
3/8	0.675	17,1	0.091	2,31	40	0.57	0.84	0.60	0.89	0.57	0.84	0.60	0.89	700	700
			0.126	3,20	80	0.74	1.10	0.77	1.14	0.74	1.10	0.77	1.14	850	850
1/2	0.840	21,3	0.109	2,77	40	0.85	1.27	0.89	1.33	0.85	1.27	0.89	1.33	700	700
			0.147	3,73	80	1.09	1.62	1.13	1.68	1.09	1.62	1.13	1.68	850	850
3/4	1.050	26,7	0.113	2,87	40	1.13	1.69	1.19	1.77	1.13	1.69	1.19	1.77	700	700

Figura 96. Propiedades de Acero negro ASTM A 53.

Fuente: (Conduven)

La tubería seleccionada para realizar las conexiones de vapor anteriormente mencionados serán con tubería de diámetro de 1/2 pulgada con la propiedad de poder soportar un flujo de vapor hasta los 750 psi.

#### 4.11.2. Selección de elementos.

Los elementos para las conexiones de vapor se encuentran en el Anexo C.

#### 4.11.3. Estructura mecánica.

El diseño de la estructura mecánica necesita una segunda opción de paso de vapor denominado “bypass” en caso de emergencia o mantenimiento de la electroválvula solenoide.

Las instalaciones de vapor de los tanques de agua caliente ya poseen una estructura mecánica, donde solo es necesario cambiar el actuador (electroválvula solenoide de vapor).

Las instalaciones de vapor en las máquinas de lavandería serán las únicas que necesiten de una nueva estructura mecánica, ya que se necesita realizar un control de corte y apertura de vapor.

El diseño de la estructura mecánica se encuentra en el Anexo D.

La estructura mecánica vista en 3D se lo puede observar en la figura 97 donde se puede observar el paso de vapor bypass mediante la apertura o cierre de la válvula manual.



Figura 97. Vista 3D Estructura Mecánica de paso de vapor en máquinas de lavandería.

## **4.12. DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA – HMI.**

El sistema de generación y distribución de vapor será controlado mediante una Interfaz Hombre Máquina que posibilite al operador navegar por un entorno simple e intuitivo, con el fin de realizar el control y supervisión del proceso de generación y distribución de vapor.

El sistema HMI trabaja a través de indicadores visuales que permitirán conocer el estado actual del proceso, así como posibles fallas e inconvenientes que puedan presentarse.

Como cada proceso tiene particularidades propias, los elementos de interfaz que serán descritos no son los únicos pero si los más comunes, lo que significa que al aplicar la metodología propuesta, estos conceptos podrán enriquecerse de acuerdo a las características específicas de cada aplicación.

### **4.12.1. Características del usuario.**

#### **Pre-Requisitos.**

El usuario que va a operar el HMI debe cumplir ciertos requisitos en cuanto a su formación académica debe ser un bachiller técnico o tecnólogo industrial como mínimo.

#### **Discapacidades visuales.**

El usuario que va a operar el HMI debe cumplir ciertos requisitos respecto a discapacidades visuales como:

- No ser disléxico
- Daltónico

- Discapacidad visual moderada: Posibilidad de realizar tareas visuales con el empleo de ayudas especiales e iluminación adecuada , esto estará en los rangos de Weker entre AVL 2.0 y 0.8

### **Discapacidades auditivas.**

Debido a que el sistema de distribución de vapor produce sonidos de 90 - 100dB se debe considerar que no cause ninguna molestia a el usuario que va a operar el HMI ya que la oficina donde se va a situar se encuentra a 5 metros de distancia del sistema de generación de vapor por lo tanto se recomienda que los sonidos de las alarmas sea menor a 10 dB, además de que se implemente sonidos de alarmas de emergencia mayor a 70 - 75 dB y alarmas de paro.

#### **4.12.2. Características del HMI.**

### **Supervisión.**

Se realiza la supervisión de lo siguiente:

- Encendido de caldera
- Estado de las bombas
- Temperatura de Tanques de Agua
- Electroválvulas de Lavandería
- Presión en Esterilizador
- Proceso de Esterilizador

### **Control.**

La interfaz permitirá al operador trabajar en dos modos de operación:

- Manual
- Automático

## Capacidades del HMI.

- Diagramas interactivos de color
- Visualización de Alarmas
- Tiempo real e histórico
- Control Manual
- *Control Automático*
- *Navegabilidad*

## Arquitectura del HMI.

La arquitectura empleada para la HMI, es una arquitectura de tipo modular como se muestra en la figura 98, ya que cada elemento físico posee una sola función específica de la HMI, pero se encuentran integrados en un solo sistema. Dentro de la presente arquitectura se puede observar una estructura jerárquica como se muestra a continuación:

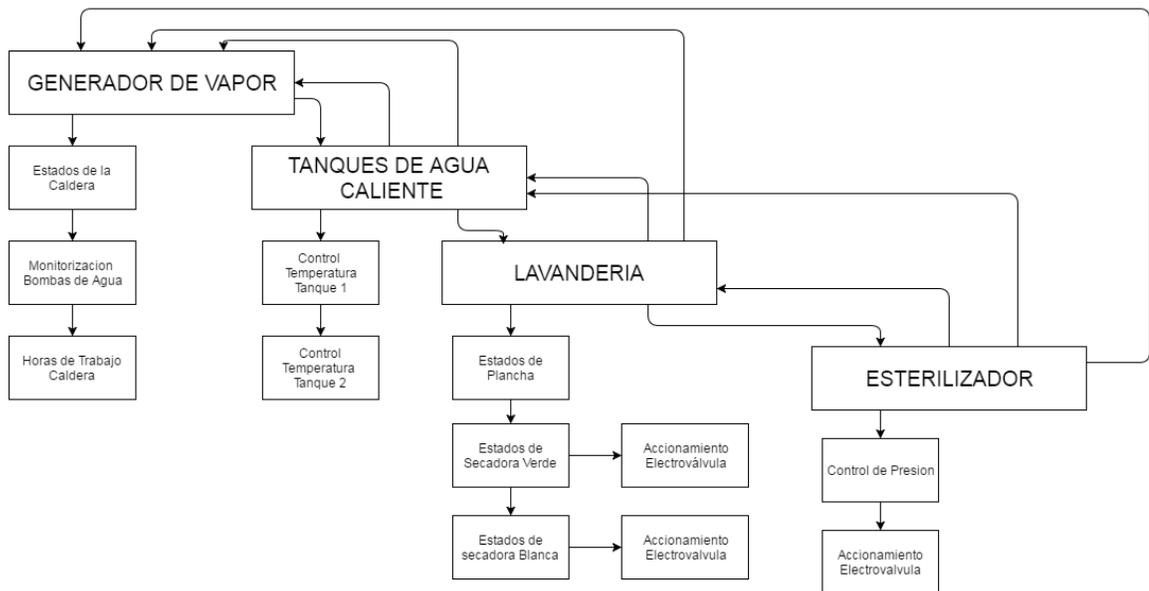


Figura 98. Arquitectura HMI.

### 4.12.3. Estructuras de las pantallas de operación.

La pantalla principal será del sistema de generación de vapor ya que el encendido de la caldera es la parte principal de todo el sistema y de esta pantalla se va a navegar hacia las demás.

#### Pantalla principal.

La pantalla principal que se muestra en la figura 99, pertenecerá al generador de vapor, dentro de esta pantalla se monitoreará lo siguiente:

- Estados de bombas de Agua.
- Estados de la Caldera.
- Horas de trabajo de Caldera.

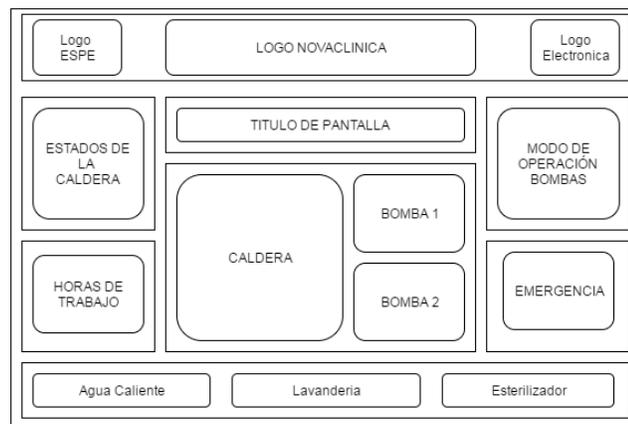


Figura 99. Pantalla principal.

#### Tanques de agua caliente.

La pantalla de tanques de agua caliente se muestra en la figura 100, va a ser la encargada de monitorizar la temperatura del agua en la línea de salida tanto del tanque 1 y 2 de agua caliente.

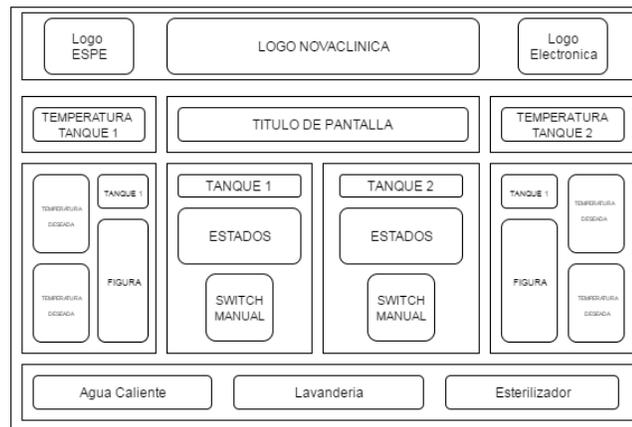


Figura 100. Tanques agua caliente.

### Estelizador.

En la siguiente pantalla, figura 101, se va a mostrar el estado actual del proceso de esterilización, en esta pantalla se monitorizara lo siguiente:

- Proceso de Esterilización
- Presión de trabajo
- Estado de válvula de entrada

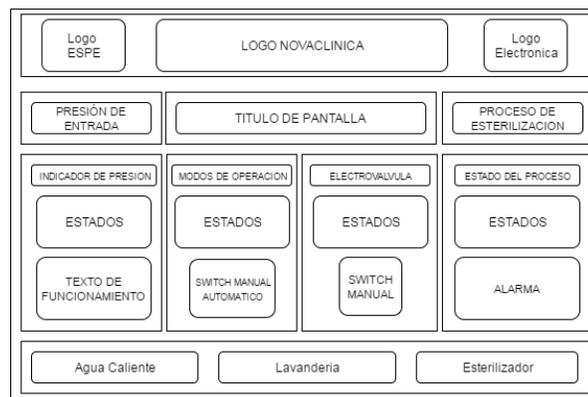


Figura 101. Esterilizador.

### Uso del color.

Para la elección de colores es necesario referirse a la paleta de colores de Orchestra de Intouch donde se podrá conseguir cada uno de los colores que han sido especificados posteriormente.

### **Color de fondo de la pantalla.**

Para el color del fondo de las pantallas, como se muestra en la figura 102, se eligió el color azul oscuro, degradado en los costados e iluminado en el centro ya que no produce un alto contraste con los demás elementos utilizados para el diseño de la interfaz.



Figura 102. Color fondo pantalla.

### **Color de paneles.**

El color para los paneles internos será de color gris, ya que de esta manera se realizara un contraste con el fondo de pantalla, como se muestra en la figura 103.



Figura 103. Color fondo paneles.

### **Color texto.**

Los títulos serán de color negro, Times New Roman , numero 20 y los subtítulos y los textos normales serán de color azul , Times New Roman , numero 12



Figura 104. Color texto.

## CAPITULO V

### 5. IMPLEMENTACIÓN.

#### 5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.

Con la revisión y aprobación del diseño del tablero eléctrico, el camino a seguir es adquirir la estructura (caja) del tablero con todas las especificaciones requeridas. En la figura 105 se muestra la estructura adquirida del tablero.



Figura 105. Estructura del tablero eléctrico.

Con la adquisición de la estructura del tablero la siguiente tarea es armar el tablero de acuerdo a la distribución de elementos según el diseño (véase en el capítulo 4 diseño del tablero eléctrico); en la figura 106 se muestra la incorporación de las canaletas y de las rieles en la bandeja del tablero eléctrico.



**Figura 106. Bandeja del tablero electrico con canaletas y riel.**

En la figura 107 y 108 se muestra la ubicación de cada uno de los elementos que conforman el tablero de control en su posición correspondiente (véase en el capítulo 4 diseño del tablero eléctrico)



**Figura 107. Ubicacion de los elementos en la riel.**



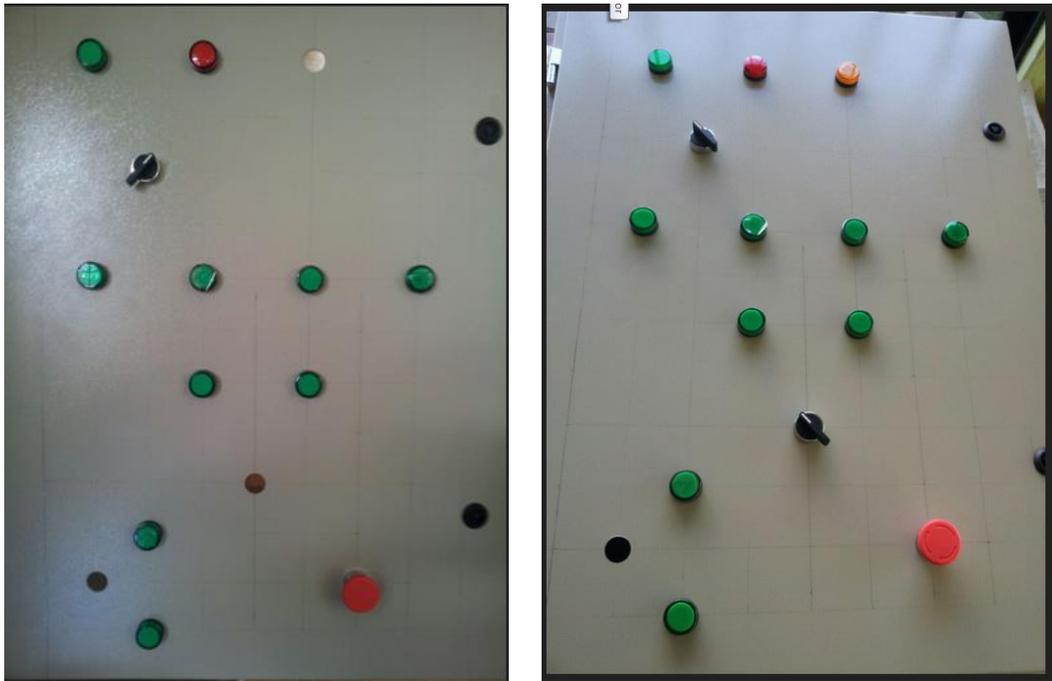
**Figura 108. Ubicacion de elemntos en la riel.**

En la figura 109 se muestra la distribución espacial para la colocación de los elementos en la puerta del tablero y en la figura 110 se muestra la realización de orificios para la colocación de los elementos.



**Figura 109. Distribución espacial.**

En la figura 110 se muestra la presentación de la tapa del tablero de control con todos los elementos incluidos.



**Figura 110. Presentación de la Puerta con los elementos incluidos.**

En la figura 111 se muestra el tablero de control con todos los elementos incluidos.



**Figura 111. Tablero de control con los elementos incluidos.**

Con todos los elementos que conforman el tablero de control instalados en su lugar, el siguiente paso es la realización de conexiones entre ellos; la figura 112 y 113 muestran las conexiones.



**Figura 112. Conexion entre elementos del tablero.**



**Figura 113. Conexiones entre elemntos del tablero.**

Al finalizar las conexiones de todos los elementos que conforman el tablero, para el montaje del tablero de control se debe definir el lugar donde se va a instalar de manera que cumpla con todos los requisitos tanto del operador y de

seguridad industrial; en la figura 114 se muestra el montaje del tablero en la pared.

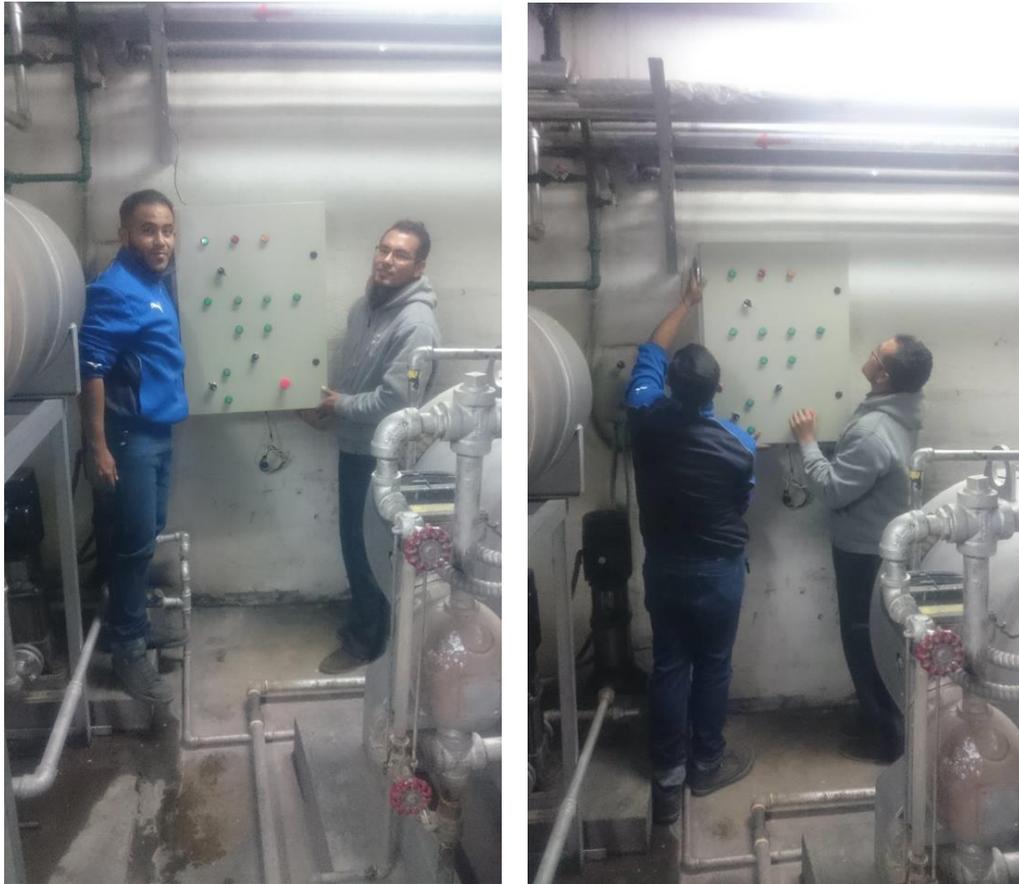


Figura 114. Montaje del tablero de control en la pared.

## 5.2. INTEGRACIÓN DE ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL.

Finalizada la instalación del tablero de control, se prosiguió al cableado de los instrumentos de control, sensores y actuadores hacia el tablero de control, la figura 115 muestran la conexión de las electroválvulas de la línea de entrada de vapor de los tanques de agua caliente 1 y 2 respectivamente.



Figura 115. Electrovalvula en tanque N1 y N2.

En la figura 116 se muestra la conexión de la electroválvula con el bypass respectivo y la tubería de media pulgada de hierro negro.



Figura 116. Conexion de la electrovalvula con Bypass.

La instalación de la electroválvula en la línea de entrada de vapor de la plancha industrial se muestra en la figura 117 con su respectivo bypass, en caso de mantenimiento del actuador (electroválvula) se puede suministrar vapor a la máquina manualmente.



Figura 117. Montaje de la electroválvula.

Al terminar el montaje de la electroválvula en la línea de entrada de vapor en la secadora se prosiguió con el cableado de la misma hacia el tablero de control, se muestra en la Figura 118.



Figura 118. Cableado de la electroválvula.

En la figura 119 se muestra la incorporación de una la manguera anillada metálica como elemento de protección contra el calor para el cable.



**Figura 119. Incorporación elemento de protección.**

La instalación del presuretrol en la línea de entrada de vapor del equipo de esterilización, se muestra en la figura 120.



**Figura 120. Instalación del presuretrol.**

Después de la instalación del presuretrol en la entrada de vapor del equipo de esterilización la siguiente actividad que se realizó es el cableado del presuretrol hacia el tablero de control con su respectiva protección contra el calor para el cable, se muestra en la figura 121.



Figura 121. Cableado del presuretrol.

La electroválvula en la línea de entrada de la secadora verde como se muestra en la figura 122 ya se encontraba instalada, se realizó el cableado de la electroválvula hacia el tablero de control para desarrollar el respectivo control.



Figura 122. Cableado de la electroválvula de la secadora verde.

Con todos los elementos de instrumentación y control conectados entre sí, la siguiente actividad que se realizó es el desarrollo de la programación del controlador.

### 5.3. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR.

#### 5.3.1. Instalación del software.

El desarrollo del controlador se empezó con la instalación del software Rslogix 500 para la programación del PLC como se muestra en la figura 123. Los requerimientos del sistema operativo para la instalación del software son:

- Windows XP de 64 bits.
- RAM 4GB.
- Procesador Intel Core i3.

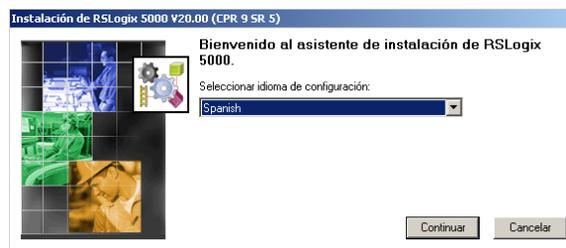


Figura 123. Instalacion Rslogix 500.

Observar los cuadros de diálogos que salen durante la instalación escoger la opción de lenguaje y dar clic en continuar.

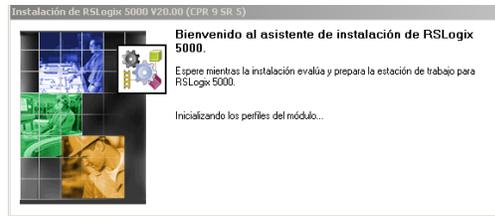


Figura 124. Instalación de Rslogix.

En la figura 125 se muestra el cuadro de diálogo donde se escoge el software y su respectivo directorio donde se va a instalar.



Figura 125. Selección directorio.

### 5.3.2. Configuración de red PC-PLC

La siguiente actividad para poder programar el controlador es una configuración del PLC Micrologix 1100, la asignación de una dirección IP se muestra en la figura 126.

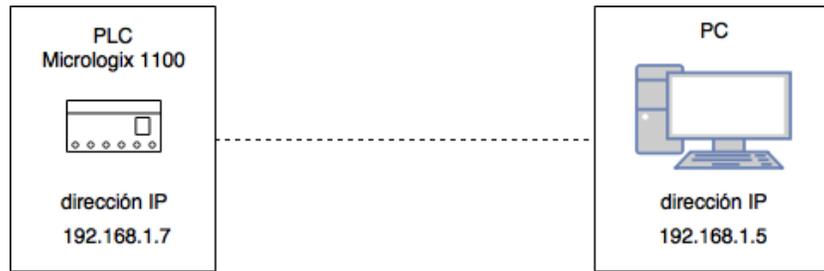


Figura 126. Red PLC- PC.

- **Red PC-PLC**

Para poder programar el PLC Micrologix 1100, utilizaremos el puerto Ethernet, para el cual es necesario formar una red punto –punto como se muestra en la figura 130 entre el PLC y la PC, para eso se debe asignar manualmente la dirección IP a la computadora como al autómeta programable.

Se utiliza una red de clase “C” ya que su aplicación es para redes pequeñas. Las direcciones de la clase “C” van desde la dirección 192.0.0.0 hasta la dirección 223.255.255.255 como se lo muestra en la figura 127, las direcciones que se usan serán:

- PLC Micrologix 1100: 192.168.1.7
- PC: 192.168.1.5

CLASE	DIRECCIONES DISPONIBLES		CANTIDAD DE REDES	CANTIDAD DE HOSTS	APLICACIÓN
	DESDE	HASTA			
<b>A</b>	<b>0.0.0.0</b>	<b>127.255.255.255</b>	<b>128*</b>	<b>16.777.214</b>	<b>Redes grandes</b>
<b>B</b>	<b>128.0.0.0</b>	<b>191.255.255.255</b>	<b>16.384</b>	<b>65.534</b>	<b>Redes medianas</b>
<b>C</b>	<b>192.0.0.0</b>	<b>223.255.255.255</b>	<b>2.097.152</b>	<b>254</b>	<b>Redes pequeñas</b>
<b>D</b>	<b>224.0.0.0</b>	<b>239.255.255.255</b>	<b>no aplica</b>	<b>no aplica</b>	<b>Multicast</b>
<b>E</b>	<b>240.0.0.0</b>	<b>255.255.255.255</b>	<b>no aplica</b>	<b>no aplica</b>	<b>Investigación</b>

\* El intervalo 127.0.0.0 a 127.255.255.255 está reservado como dirección loopback y no se utiliza.

Figura 127. Rangos de Direcciones IP.

Fuente: (oelviloria, 2015)

La máscara de red seleccionada será “255.255.255.0” ya que así conseguiremos que solo se transmitan datos dentro de la red 192.168.1.x

- **Configuración dirección PC.**

Se ingresa al panel de control y se selecciona el icono de “Configuraciones de Red” como se lo muestra en la figura 128.

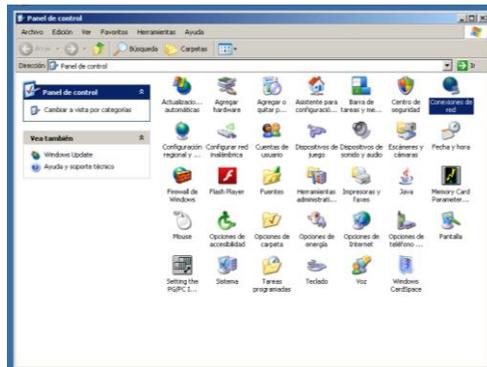


Figura 128. Conexiones de Red-PC.

Clic al icono de conexión de área local y seleccionar “propiedades”, para así configurar la dirección en la PC como se muestra en la figura 129.

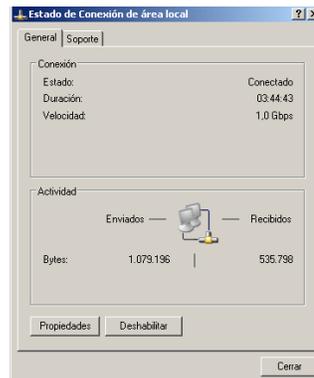


Figura 129. Conexiones área local PC.

Seleccionar “protocolo (TCP/IP)”, como se muestra en la figura 130 y se configura la dirección de la PC como se muestra en la figura 130

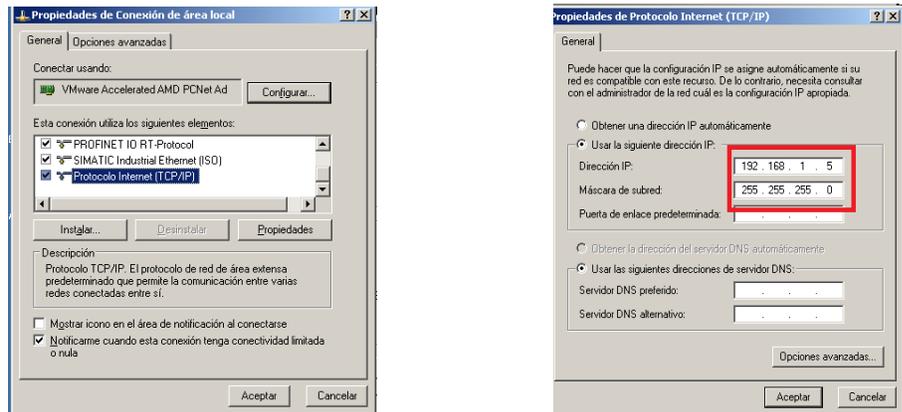


Figura 130. Propiedades TCP/IP y Dirección IP-PC.

- **Configuración dirección PLC.**

Para poder configurar la dirección del PLC, entrar a inicio, al icono llamado “BOOTP-DHCP-SERVER” como se muestra en la figura 131, este programa viene dentro del paquete de instalación del Rslogix 500.

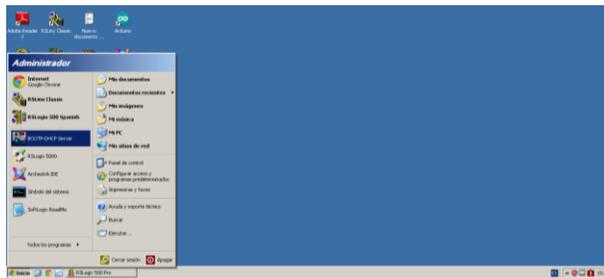


Figura 131. BOOTP-DHCP-SERVER.

Abierto el programa, esperar a que reconozca la dirección MAC del PLC como se muestra en la figura 132 y seleccionar la última dirección MAC reconocida.

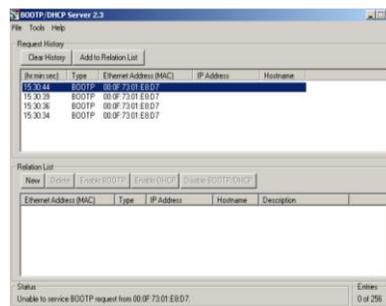


Figura 132. Reconocimiento PLC.

Una vez seleccionado el PLC, configurar la dirección IP del PLC, siendo “192.168.1.7” como se muestra en la figura 133 y dar clic en “ok”.

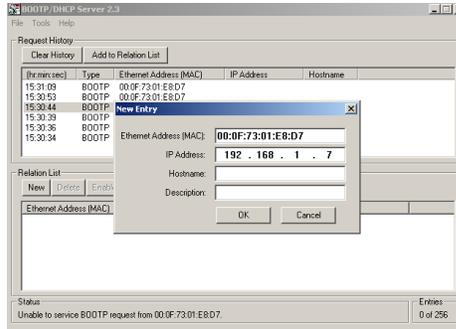


Figura 133. Dirección IP-PLC

Esperar un momento, para estar seguros de que asignó la dirección al PLC entrar en el panel del PLC micrologix 1100 y en el ítem IPCONFIG podremos observar si la dirección del PLC fue asignada correctamente como se lo muestra en la figura 134.



Figura 134. Panel IPCONFIG Micrologix 1100.

### 5.3.3. Configuración Rslogix 500.

Para poder programar el PLC dentro del software Rslogix 500 se debe configurar el software para que le reconozca al PLC

Abrir un nuevo programa como se muestra en la figura 135 y seleccionar el PLC Micrologix 1100 serie B como se lo muestra en la figura 136.

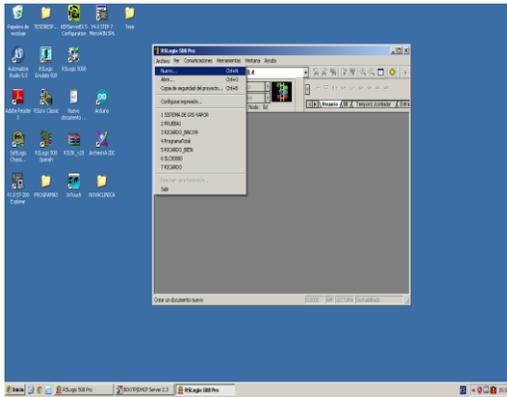


Figura 135. Programa RSlogix 500.

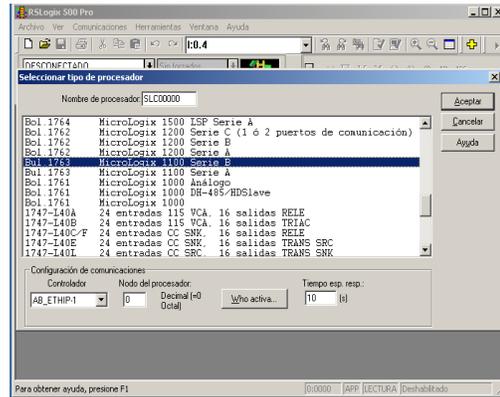


Figura 136. Selección del PLC Rsllogix500.

Seleccionar la pestaña de “Configuración de Entradas y Salidas “, clic en leer entradas y salidas, esto hará que el programa reconozca todas las funciones apropiadas para el PLC, como se muestra en la figura 137.

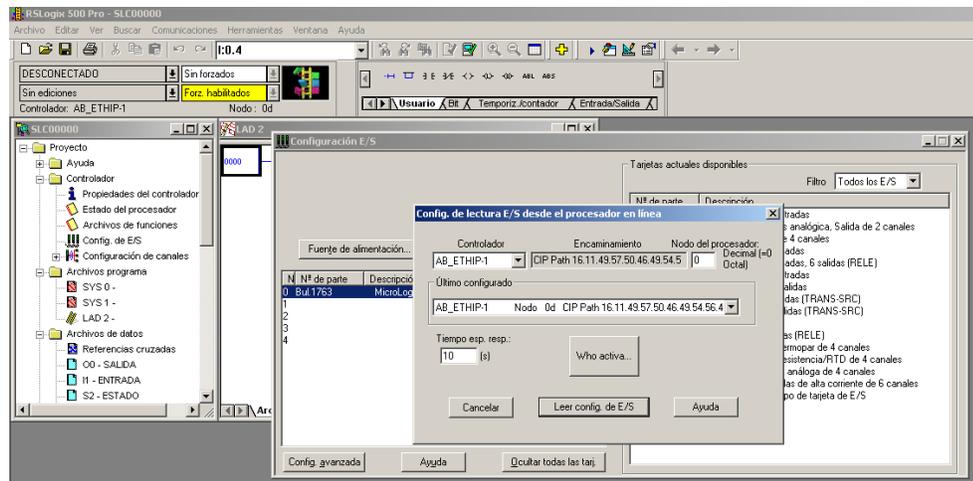


Figura 137. Lectura de entradas y salidas Rsllogixs 500.

- **Configuración RSLinx Classic.**

Configurar el Rslinx para generar un nuevo Topic , el cual ayudará a que haya comunicación entre el PLC y el HMI colocado en la computadora.

Entrar a Rslinx y seleccionar la pestaña de DDE/OPC y abrir en “Topic configuration” como se muestra en la figura 138.

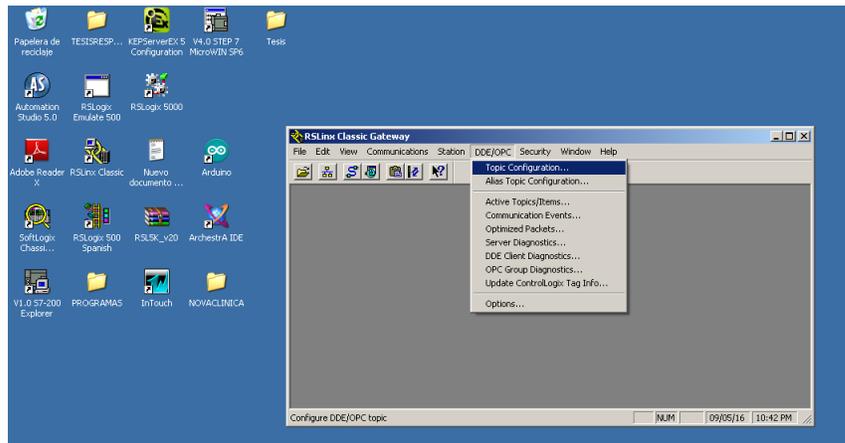


Figura 138. Topic Configuration.

Crear un topic llamado “conexión” y seleccionar con la dirección del PLC, aceptar la configuración como se muestra en la figura 39.

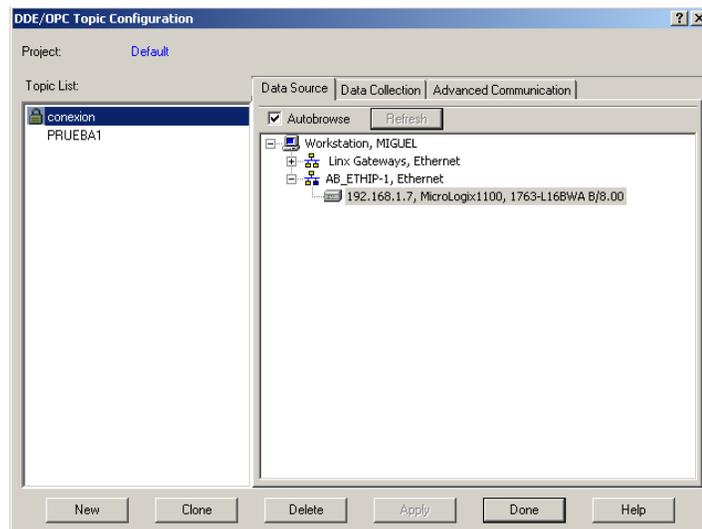


Figura 139. Nuevo Topic "conexión".

### 5.3.4. Desarrollo de la programación.

Véase en el **Anexo E**, en el cual se muestra el desarrollo de la programación del controlador, así como todas las variables ocupadas con sus respectivas direcciones.

## 5.4. DESARROLLO DE LOS HMI'S

### 5.4.1. Interfaz generador de vapor.

Mediante el diseño de la interfaz humana máquina, se ha desarrollado la pantalla principal que será la pantalla de “Generación de Vapor” como se muestra en la figura 140, donde se encuentran todos los elementos gráficos que interactuarán con el operador.



Figura 140. HMI Generación de vapor.

Descripción de elementos gráficos mostrados en la figura 141.

- 1 **Estados de la Caldera:** Este elemento indica si la caldera se encuentra activado, desactivado o en emergencia.
- 2 **Horas de trabajo:** Mediante este elemento se puede observar cuanto tiempo la caldera ha permanecido encendida, ya que solamente el cronometro marcara el tiempo siempre y cuando la caldera este encendida.
- 3 **Caldera:** Este elemento ayuda a visualizar si al caldera se encuentra encendida o apagada.

- 4 **Cronometro Bomba 2:** Marca el tiempo de funcionamiento de la bomba 2, este cronometro marca el tiempo siempre y cuando la bomba 2 esté encendida.
- 5 **Cronometro Bomba 1:** Marca el tiempo de funcionamiento de la bomba 1, este cronometro marca el tiempo siempre y cuando la bomba 1 esté encendida.
- 6 **Botón “H” bomba 2:** Este botón permite visualizar el cronometro de la bomba 2.
- 7 **Botón “H” bomba 1:** Este botón permite visualizar el cronometro de la bomba 1.
- 8 **Modo de Operación:** En este recuadro se visualizará el modo de operación de las bombas de agua.



Figura 141. Elementos gráficos-Generador de vapor.

Descripción de elementos de Emergencia mostrados en la figura 142.

1. **Estados de la Caldera:** Este elemento muestra que la caldera se encuentra en emergencia.

- 9. Botón de Emergencia:** El botón de Emergencia para todo el proceso de generación de vapor así como el de control, cerrando las electroválvulas colocadas en cada proceso así como apagando las bombas de agua.
- 10. Panel de Emergencia:** Este panel muestra al operador una acción prioritaria, impidiendo la manipulación del sistema.



Figura 142. Elementos de emergencia -Generación y distribución de vapor.

#### 5.4.2. Interfaz tanques de agua caliente.

Mediante el diseño de la interfaz humana máquina, se ha desarrollado la pantalla de Tanques de Agua caliente mostrada en la figura 143, donde se encuentran todos los elementos gráficos que interactuarán con el operador.



Figura 143. Elementos Gráficos - Tanques de agua caliente.

Descripción de elementos gráficos mostrados en la figura 144.

- 1 **Temperatura Deseada Tanque:** En este recuadro se muestra la temperatura deseada, si el control se encuentra en automático, esta temperatura trabajará dependiendo de la tabla 10 de medición de condensado, si el control se encuentra en manual, esta temperatura el operador podrá modificarle.
- 2 **Temperatura Real Tanque:** En este recuadro se muestra la temperatura Real del tanque de agua caliente
- 3 **Modo de Operación:** En este recuadro se muestra que tipo de control está trabajando el controlador, manual o automático.
- 4 **Selección de Operación:** Mediante estos botones, se puede escoger el modo de operación en la cual se trabaja, en manual o automático.



Figura 144. Elementos- Tanques de agua caliente.

### 5.4.3. Interfaz área de lavandería.

Mediante el diseño de la interfaz humana máquina, se ha desarrollado la pantalla del área de lavandería mostrada en la figura 145, donde se encuentran todos los elementos gráficos que interactuarán con el operador.



Figura 145. Elementos Gráficos - Área de Lavandería

Descripción de elementos gráficos mostrados en la figura 145.

Cada elemento descrito está señalado en la figura 146.

- 1 **Monitoreo principal:** Encendido o apagado de la línea principal de vapor en el área de Lavandería.
- 2 **Switch de Modo de Operación:** Mediante este switch se puede elegir el modo manual/automático de operación de las electroválvulas de cada máquina en el área de lavandería
- 3 **Modo de Operación:** Este recuadro dirá si esta en modo manual o automático.
- 4 **Switch ON/OFF Secadora verde:** Dentro del modo manual se puede activar o desactivar la electroválvula de paso de vapor hacia la máquina secadora verde
- 5 **Luces de Estado Secadora Verde:** En este recuadro se puede observar si se encuentra activa la electroválvula (ON) o desactivada (OFF) independientemente en el modo de operación en el que se encuentre
- 6 **Switch ON/OFF Plancha:** Dentro del modo manual podremos activar o desactivar la electroválvula del paso de vapor hacia la máquina secadora verde
- 7 **Luces de Estado Plancha:** En este recuadro se puede observar si se encuentra activada la electroválvula (ON) o desactivada (OFF) independientemente en el modo de operación en el que se encuentre
- 8 **Botón de Emergencia:** El botón de emergencia total nos ayuda a pagar TODOS los sistemas de vapor en caso de alguna falla.



Figura 146. Elementos gráficos - Área de lavandería.

#### 5.4.4. Interfaz área esterilizador.

Mediante el diseño de la interfaz humana máquina, se ha desarrollado la pantalla del área de lavandería mostrada en la figura 147, donde se encuentran todos los elementos gráficos que interactuarán con el operador.



Figura 147. Elementos gráficos - Esterilizador.

Descripción de elementos gráficos mostrados en la figura 147.

Cada elemento descrito está señalado en la figura 148.

- 1 **Estado del Esterilizador:** Este recuadro indicará si el esterilizador se encuentra activado o desactivado, esto indica que el esterilizador necesita de 40 psi en la línea de entrada de vapor.
- 2 **Línea de presión de Entrada:** Este recuadro indica si la presión de entrada supera los 40 psi activándose la luz verde o si la presión de entrada no supera los 40 psi , activándose la luz roja
- 3 **Switch Modo de Operación:** Mediante este switch se puede seleccionar el modo de activación de la electroválvula en manual o automático.
- 4 **Modo de Operación:** Este recuadro indica el modo de operación en el que se encuentra el control de presión, si es manual o automático
- 5 **Switch Activación:** En modo Manual este switch será visible para el operador y así activar o desactivar la electroválvula del esterilizador.
- 6 **Estado de Electroválvula :** Este recuadro indica si la electroválvula esta activada, dejando paso de vapor , prendiéndose la luz verde o desactivada , bloqueando el paso de vapor prendiéndose la luz roja.
- 7 **Botón de Emergencia:** El botón de emergencia total ayuda a apagar TODOS los sistemas de vapor en caso de alguna falla.



Figura 148. Elementos gráficos – Esterilizador.

## 5.5. PUESTA EN MARCHA.

### 5.5.1. Tablero eléctrico.

Para la puesta en marcha es necesario tener en cuenta todas las medidas de seguridad tales como:

- Inspección de todos los elementos utilizados que estén conectados.
- Contar con la presencia de los técnicos encargados del área de máquinas.
- Tener pleno conocimiento del procedimiento a seguir si el sistema a probar no funciona correctamente o si existe una falla.

A continuación en la figura 149 se muestra el encendido del caldero mediante el selector de encendido o apagado que se encuentra en el tablero como se observa en la figura 150.



Figura 149. Selector ON/OFF caldera.



Figura 150. Tablero de control en caldera.

El encendido de la caldera se puede visualizar en el HMI como se muestra en la figura 151, en esta ventana también se visualiza las horas de trabajo de la caldera, el estado de las bombas de agua y el modo de operación automático.



Figura 151. HMI Principal caldera.

El modo de operación de las bombas puede ser cambiado de automático mediante el selector que se encuentra en el tablero como se muestra en la figura 152.



Figura 152. Selector modo de operación bombas.

El indicador del modo de trabajo de las bombas de agua se puede visualizar en la ventana del HMI como se muestra en la figura 153, también se puede visualizar que la bomba que está funcionando es la bomba 1 y el tiempo de funcionamiento de cada bomba.



Figura 153. Temporizador bombas.

Cuando el modo de trabajo de las bombas se encuentra en manual se puede elegir cual bomba encender mediante el selector que se encuentra en el tablero como se muestra la figura 154.



Figura 154. Selección de bomba - Modo manual.

Si se produce algún error en los proceso para parar todo el sistema se puede hacer presionando el botón de emergencia que está en el tablero como se muestra en la figura 155, así como el botón que se encuentra en el los HMI's como se muestra en la figura 156 cuando este botón este presionado se puede visualizar tanto en el tablero como en los HMI's.



Figura 155. Botón Emergencia - Tablero



Figura 156. Emergencia activado – HMI.

Si se desea apagar la caldera solo se puede hacer con el selector que está en el tablero como se muestra la figura 157, cuando la caldera se encuentra apagada se puede visualizar en los HMI's como se muestra en la figura 158.

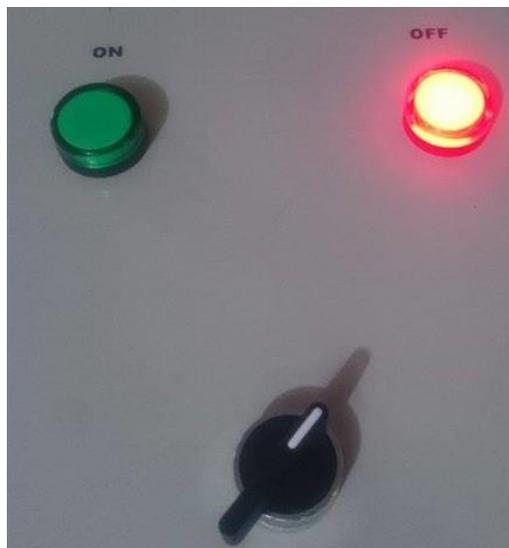


Figura 157. Selector ON/OFF – Caldera.



Figura 158. Caldera apagada – HMI.

### 5.5.2. Control de temperatura en tanques de agua caliente.

Las electroválvulas en la línea de entrada de vapor de los tanques de agua caliente N1 y N2 permiten el corte de vapor, cuando la temperatura del agua alcanza el valor deseado, de la misma forma permite el paso de vapor cuando la temperatura del agua sea menor al valor deseado. Las luces que se encuentran en el tablero como se muestra en la figura 159, permiten visualizar el consumo de vapor de cada tanque de agua.

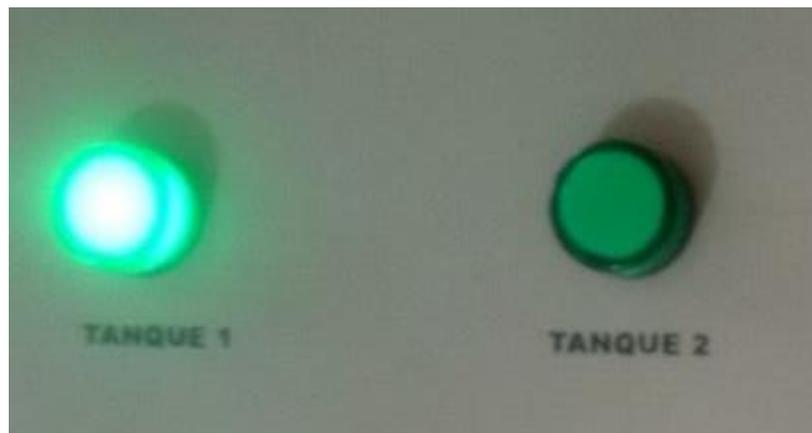


Figura 159. Luces activación - Tanques de agua caliente.

La activación de las electroválvulas son monitoreadas desde el HMI como se muestra en la figura 160, aquí se puede visualizar el modo de operación automático del control de apertura y cierre de las electroválvulas, se visualiza la temperatura del agua caliente y la temperatura deseada respectivamente de cada tanque de agua caliente.



Figura 160. Control Temperatura Tanques - HMI

El modo de operación del control puede ser cambiado de automático a manual o viceversa; mediante los botones en manual o automático en la figura 161, se puede observar que el control de temperatura en el tanque 1 es manual en donde se puede modificar la temperatura deseada y modificar el estado de la electroválvula.



Figura 161. Control temperatura tanque N1 - Modo manual.

Los modos de operación del control de temperatura de los tanques de agua caliente son independientes, en la figura 162 se muestra que el control de temperatura en el tanque 1 está en modo automático y en tanque 2 en modo manual.



Figura 162. Control temperatura Tanque N2 - Modo manual.

### 5.5.3. Control de presión en esterilizador.

En el equipo de esterilización está el indicador de presión en la línea de entrada del vapor, y para garantizar que la presión que necesita este equipo para su correcto funcionamiento se instaló un presuretrol (transmisor de presión) como esta en la figura 163 el cual envía una señal eléctrica hacia el PLC, esta señal le permite reconocer al sistema que el equipo de esterilización puede funcionar sin ningún inconveniente.



Figura 163. Control Presión -Presuretrol - Esterilizador

El control de presión en el esterilizador es lo monitorizado mediante la Interfaz HMI mostrada en la figura 164, en la cual indica que cuando se activa el proceso de esterilización, se enciende la electroválvula que da paso de vapor hacia el equipo hasta lograr tener más de 40 psi en la línea de entrada de vapor del esterilizador como se lo puede ver en la figura 165.



Figura 164. Proceso de Esterilización – HMI

Cuando la presión de entrada ya supera los 42 psi , la electroválvula corta el ingreso de vapor y en la interfaz HMI del esterilizador indica que la presión ya es la indicada en la línea entrada como se ve en la figura 165 .El control de presión mediante el presurretrol , permite crear una ventana de histéresis en la cual hace que si la presión baje de los 42 psi se active nuevamente la electroválvula hasta llegar a los 45 psi , asegurando así que la presión de entrada no baje de los 40 psi.



Figura 165 Presión de entrada mayor a 40 psi – HMI.

#### 5.5.4. Electroválvula en plancha industrial.

En el área de planchado se instaló una electroválvula en la línea de entrada de vapor de la máquina, cuando el personal de esta área ejercía su trabajo como se muestra en la figura 166, se observó el funcionamiento de los instrumentos instalados.



Figura 166. Área de planchado – NOVA CLINICA.

En la figura se puede observar las variables que se están monitorizando como la línea principal de vapor que se encuentra habilitada en el área de

lavandería. El modo de operación automático del control sobre la secadora industrial y la secadora verde de la Novaclínica es monitorizado y controlado como se muestra en la figura 167.



Figura 167. Lavandería - HMI

El modo de operación manual permite cambiar el estado de las electroválvulas que están en la línea de entrada de vapor de las maquinas como se muestra la figura 168.



Figura 168. Modo manual lavandería – HMI.

Además se puede visualizar el estado de la lavandería, si se encuentran encendidas o apagadas las máquinas, a parte existe un indicador luminoso en el tablero como se muestra en la figura 169.



Figura 169. Estado de lavandería - Tablero de control.

#### 5.5.5. Electroválvulas en la secadora verde.

La electroválvula en la secadora verde permite el corte de vapor 10 minutos antes de acabar el proceso, para que el personal de esta área pueda manipular la ropa sin riesgo de quemaduras como se muestra en la figura 170, debido a la temperatura del vapor que se utiliza para el secado.



Figura 170. Proceso de retiro de ropa seca - Lavandería

El estado de la secadora verde es monitorizado a través de un HMI como se muestra en la figura 171.



Figura 171. Monitorización de trabajo - secadora y plancha – lavandería.

## CAPÍTULO VI.

### 6. PRUEBAS Y RESULTADOS.

#### 6.1. CONTROL DE TEMPERATURA.

Las pruebas en el sistema fueron realizadas para validar los nuevos diseños de control en los diferentes sistemas. Para evitar posibles fallas y daños si hubiese, se realizó pruebas por separado, cada sistema es probado independientemente, comprobando su correcto funcionamiento.

Las pruebas realizadas se enfocan en el análisis estadístico del consumo de vapor de cada máquina en las diferentes áreas de trabajo.

##### 6.1.1. Medición del condensado en los tanques de agua caliente.

Realizada la implementación del control de temperatura en los tanques de agua caliente N1 y N2 se realizó la medición del condensado ya con el control incorporado.

Se realiza esta medición con la finalidad de poder determinar la reducción del retorno de condensado existiendo una reducción de consumo de vapor en el proceso de calentamiento de agua.

En la tabla 21 se muestra los pesos del condensado en libras durante dos horas de trabajo por siete días de trabajo normal.

**Tabla 21.**  
**Peso de condensado**

Hora 24h	Lunes (lbs)	Martes (lbs)	Miércoles (lbs)	Jueves (lbs)	Viernes (lbs)	Sábado (lbs)	Domingo (lbs)
10h	137,44	145,73	128,85	143,65	145,64	138,56	134,825
12 h	128,35	142,81	131,87	132,59	141,38	135,63	137,25
15 h	131,64	138,72	120,47	128,64	122,68	121,5	118,265
18 h	54,88	58,87	43,22	52,43	67,87	67,56	60,72
20 h	81,72	46,98	67,28	89,72	74,67	52,53	55,42
24 h	55,63	52,87	55,72	61,63	63,84	43,59	35,88
3 h	23,67	35,83	38,32	37,88	43,29	44,56	32,68
6 h	23,61	35,83	47,63	42,48	55,87	43,07	49,81
8 h	120,72	108,47	124,55	125,78	128,53	138,37	117,83

Los datos técnicos de la tabla 21 ayudarán para estadísticamente realizar los gráficos del consumo de vapor diario a una determinada hora durante siete días.

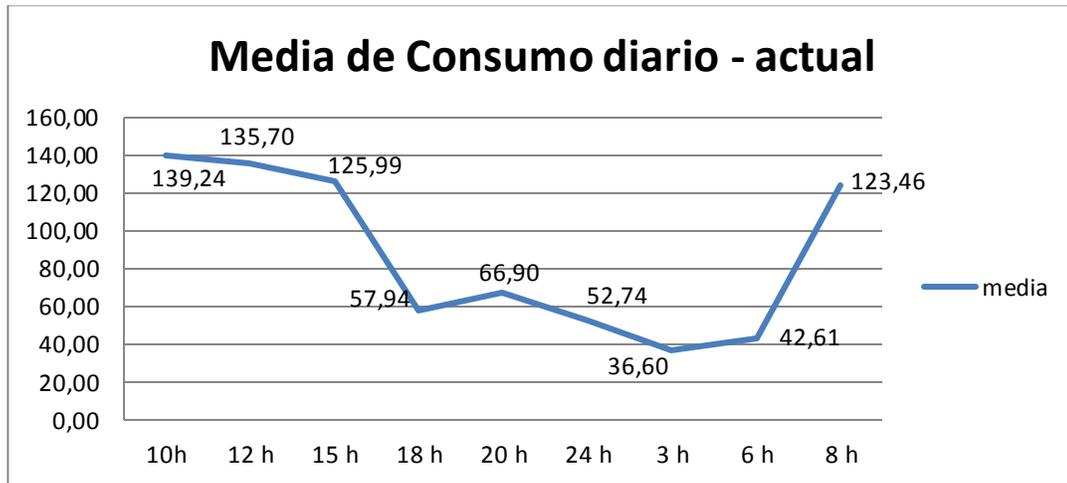


Figura 172. Media del consumo diario.

El control actual reduce el consumo de vapor inicial, dando un retorno promedio de condensado de 123,46 libras a comparación de las 141,72 libras de retorno de condensado que anteriormente se necesitaba.

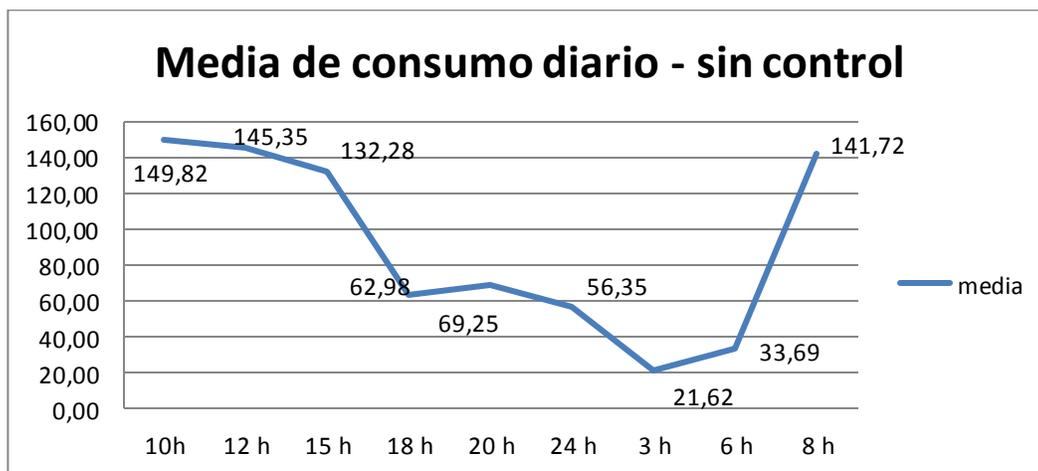


Figura 173. Media del consumo diario sin control.

## **6.2. CONTROL DE PROCESOS EN LAVANDERÍA.**

### **6.2.1. Control de tiempos en proceso de secado.**

- **Medición del tiempo de secado.**

Es importante determinar el tiempo mínimo de trabajo de la secadora, teniendo en cuenta que se necesita que la ropa posea una temperatura en la cual sea manipulable por los trabajadores del área de lavandería. Determinar este tiempo permitió hacer que el proceso de secado sea uniforme, es decir siempre que se vaya a secar un lote de ropa, el tiempo de secado sea el mismo, todo esto permite realizar un control sin la intervención de los trabajadores.

Anteriormente no existía este control y se trabajaba con tiempos aleatorios, esto tenía como consecuencia que los trabajadores abran la puerta de la secadora para verificar que la ropa este seca, caso contrario se retomaba el proceso de secado.

En la tabla 22, tabla 23 y tabla 24 se muestra los tiempos de secado dependiendo de la carga de ropa colocada dentro de ella , las dos variables con las que se trabajó fueron la carga de ropa medida en libras y el tiempo que la secadora permaneció encendida para que el lote de ropa pueda llegar a secarse.

Se realizaron cinco cargas de ropa para cada lote, en donde se pudo calcular el valor medio del tiempo en el cual la secadora deberá estar encendida.

**Tabla 22.**  
**Tiempo de secado con carga de 20 lbs**

Carga de ropa de 20 [Lbs]	Tiempo [min]
<b>1er Lote</b>	18
<b>2do Lote</b>	22
<b>3er Lote</b>	23
<b>4to Lote</b>	17
<b>5to Lote</b>	20
Valor medio	<b>20</b>

**Tabla 23.**  
**Tiempo de secado con carga de 20 lbs.**

Carga de ropa de 30 [Lbs]	Tiempo [min]
<b>1er Lote</b>	27
<b>2do Lote</b>	32
<b>3er Lote</b>	36
<b>4to Lote</b>	29
<b>5to Lote</b>	31
Valor medio	<b>31</b>

**Tabla 24.**  
**Tiempo de secado con carga de 20 lbs.**

Carga de ropa de 40 [Lbs]	Tiempo [min]
<b>1er Lote</b>	42
<b>2do Lote</b>	45
<b>3er Lote</b>	42
<b>4to Lote</b>	44
<b>5to Lote</b>	47
Valor Medio	<b>44</b>

Las pruebas realizadas en el control de secado dieron como resultado un tiempo medio y una carga de ropa recomendable para hacer uso de la secadora.

El tiempo recomendado y establecido dentro del control de secado de ropa es de 36 minutos para una carga de ropa de 30 libras, donde se asume los 31 minutos más un 20% para asegurar el secado de todo el lote.

### 6.2.2. Control de tiempos en el proceso de planchado

- **Medición del tiempo de planchado.**

El proceso de planchado no tiene un horario fijo, en esta máquina el flujo de vapor es constante, creando así un consumo de vapor innecesario.

Mediante el control realizado se determinó tiempos de trabajo en los cuales podrían hacer que la máquina funcione durante un lapso de tiempo y en otro lapso bloquear el paso de vapor, teniendo en cuenta que no se enfríe la plancha.

En la tabla 25 se muestra los tiempos de corte de vapor hacia la plancha y los tiempos en el cual se realiza el proceso de planchado.

**Tabla 25.**  
**Tiempos de consumo de vapor en proceso de planchado**

Hora del día	Bloques Planchados	Tiempo de paso de vapor [min]	Tiempo de corte de vapor x C/bloque [min]	Tiempo total de Planchado [min]
6 am - 8 am	5	15	9	75
8am - 10 am	4	15	15	60
10am - 12 am	2	15	45	30
12am-2pm	0	0	120	0
2pm-4pm	5	15	9	75
4pm-6pm	4	15	15	60
6pm-8pm	3	15	25	45
8pm-10pm	3	15	25	45
10pm - 12 am	3	15	25	45
12am-6 am	0	0	120	0

El tiempo total de planchado se lo calcula multiplicando los bloques de planchado por el tiempo de paso de vapor.

$$\textit{Tiempo total de Planchado} = \textit{Bloq.Planchados} \times \textit{Tiempo paso de Vapor}$$

El tiempo Total de corte de vapor visto en la tabla 25 es el tiempo en el cual se está ahorrando el consumo de vapor durante el lapso de dos horas de trabajo.

El tiempo total de corte de vapor se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo Total de corte de Vapor} \\ = \textit{Bloq.Planchados} \times \textit{Tiempo de corte de cada bloque} \end{aligned}$$

La suma de los tiempos de corte total de vapor para cada bloque permitirá saber cuál es el tiempo de ahorro en un día de trabajo.

El control implementado en la plancha industrial ayudó a reducir el consumo de vapor. En la gráfica 174 se muestra el tiempo de planchado y el tiempo de corte de vapor durante un día de trabajo en un lapso de dos horas, donde se puede diferenciar con la gráfica 175 donde al no existir un control, se hacía uso de la plancha por un determinado tiempo y se mantenía la plancha consumiendo vapor innecesariamente.

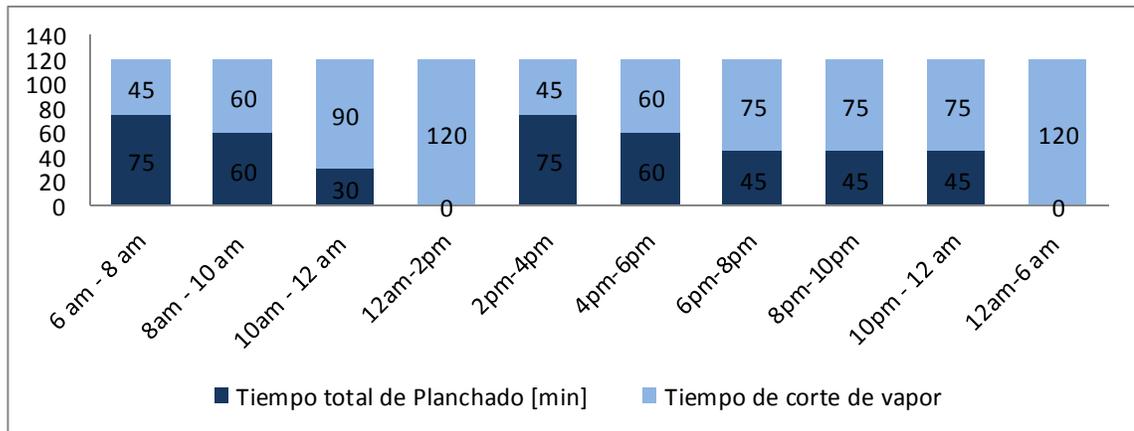


Figura 174. Gráfico de control de consumo de vapor con nuevo sistema de control

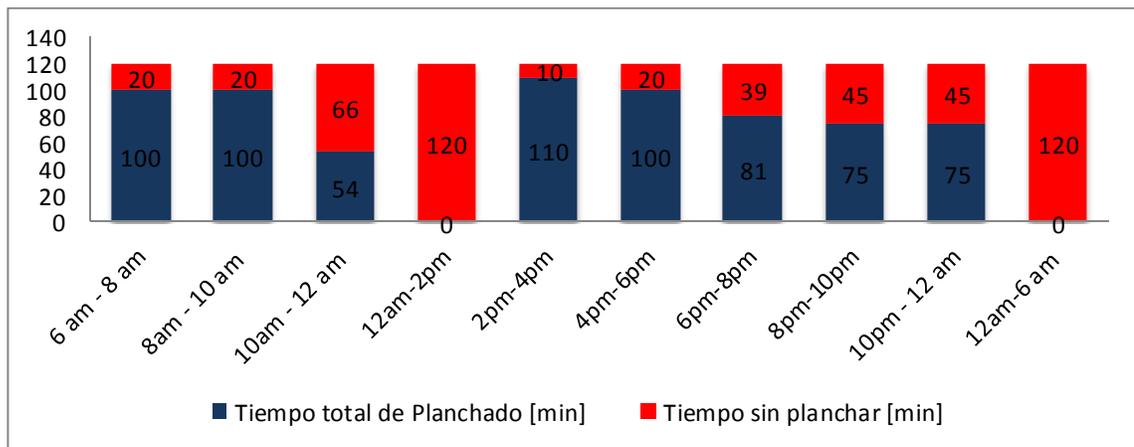


Figura 175. Gráfico de control de consumo de vapor sin control

Tiempo total de ahorro en un día de trabajo: 765 [min]

Esto da un aproximado a 12 horas y 45 minutos de ahorro diario del funcionamiento de la plancha industrial.

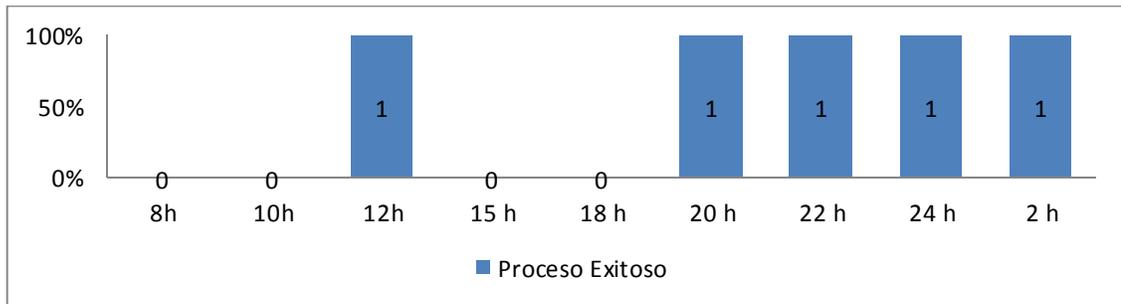
### 6.2.3. Control de presión en esterilizador.

Se realizó una monitorización constante del proceso de esterilización, haciéndolo funcionar en diferentes horas del día, para poder identificar la hora en la que el sistema es más eficaz y así no llegue a abortar el proceso.

En la tabla 26 se puede observar las horas del día a las que fue encendido el proceso de esterilización y la respuesta del mismo en haber terminado o no todo el proceso.

**Tabla 26.**  
**Proceso de esterilización**

Hora del día	Proceso Exitoso
8 :00	No
10:00	No
12:00	Si
15:00	No
18:00	No
20:00	Si
22:00	Si
24:00	Si
02:00	Si



**Figura 176.** Gráfico de control proceso de esterilización

Ya que este proceso tiene una prioridad alta sobre las demás y en caso de ser necesario corta el flujo de vapor de lavandería y tanques de agua caliente para de esa manera se garantice que el flujo de vapor sea constante hacia al área de esterilización, se dio la recomendación de que cualquier proceso de esterilización sea partir de las 20:00 horas.

## CAPITULO VII.

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES.

- El levantamiento de información del sistema de generación y distribución de vapor, mediante bloques funcionales, planos eléctricos y planos P&ID; permite agilizar la detección de fallas o errores en el sistema.
- Previo al diseño se debe conocer el funcionamiento del sistema y analizar cada subproceso para tratar de satisfacer las necesidades de una manera sencilla, eficiente y a bajo costo. Hay que recordar que no siempre la solución más compleja y costosa es la mejor, hay soluciones sencillas a problemas complejos.
- El control realizado en cada subsistema prioriza a cada proceso, esto es importante debido a que permite controlar la demanda de vapor de las maquinas, es decir llegar a un punto de equilibrio entre generación y consumo de vapor.
- La aplicación de la norma técnica IEC 60204-1 en las conexiones eléctricas; permiten estandarizar las instalaciones realizadas, dotando confiabilidad al sistema.
- La interfaz humano-máquina libera al operador de una supervisión personal constante de cada proceso, debido a que la monitorización del funcionamiento del sistema es en tiempo real.
- La descripción técnica de cada subproceso al ser única y característica, tiene la finalidad de generar archivos que sirvan como referencia para un estudio futuro del sistema.
- Realizar una modernización en el sistema de control de cada proceso, generó un ahorro de consumo de combustible de 0.7 GL /hora, este ahorro se pudo visualizar al momento de realizar la compra mensual de diesel, en donde meses anteriores un pedido de 1000 Gl duraba 14 días

y con el control incorporado se pudo realizar el pedido 21 días después de la última entrega.

## **7.2. RECOMENDACIONES.**

- Para mejorar el sistema de distribución de vapor se recomienda que los equipos a utilizar vapor estén lo más cerca del distribuidor ya que así se evitaban pérdidas en las líneas de vapor.
- Para evitar contratiempos en las instalaciones mecánicas, eléctricas y electrónicas en futuras modificaciones del proyecto, revisar todas sus especificaciones técnicas y disponibilidad en el mercado local.
- Si se dieran cambios a futuros en el HMI se recomienda mantener la arquitectura usada en el proyecto, ya que como se mencionó el HMI debe de ser de fácil manejo para los operarios evitando utilizar palabras técnicas.
- Las líneas de vapor se recomienda recubrirlas con cañuela de fibra de vidrio para que la temperatura no descienda y así evitar que se genere condensado dentro de la misma.
- Se recomienda la adquisición de otro sistema de generación de vapor en caso de requerir maquinaria adicional a la existente, debido a que el sistema actual de generación de vapor abastece únicamente a los subprocesos estudiados en el presente proyecto.
- Para la seguridad del personal técnico, tomar en cuenta que se trabaja con temperaturas superiores a 50 °C, por lo tanto se recomienda utilizar la indumentaria necesaria para evitar accidentes laborales.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Repositorio Digital EPN. (2006). Recuperado el jueves de Marzo de 2016, de Repositorio Digital EPN:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/325/1/CD-0307.pdf>

estrucplan. (24 de 11 de 2011). Recuperado el lunes de marzo de 2016, de estrucplan:

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2953>

OSMOVIC. (2015). Recuperado el Miercoles de Marzo de 2016, de OSMOVIC:

<http://osmovic.com.ar/ablandadores-de-agua-para-calderas/>

ABSORSISTEM. (s.f.). Recuperado el lunes de Marzo de 2016, de

ABSORSISTEM:

<http://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/descripci%C3%B3n-de-calderas-y-generadores-de-vapor>

Borroto, A. (2015). Eficiencia Energetica en Generación y Distribución de Vapor.

(I. E. Tipan, Intérprete) Cien Fuegos, Cuba.

Cabrera, S. (2012). RepositoUPS. Recuperado el Lunes de Marzo de 2016, de

RepositoUPS:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3681/1/UPS-KT00035.pdf>

Cobo, R. (2010). aie.cl. Recuperado el viernes de marzo de 2016, de aie.cl:

<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>

Envirotech. (2014). envirotech-la.com. Recuperado el lunes de marzo de 2016,

de envirotech-la.com: [http://www.envirotech-](http://www.envirotech-la.com/sites/default/files/RFolleteVitalizer.pdf)

[la.com/sites/default/files/RFolleteVitalizer.pdf](http://www.envirotech-la.com/sites/default/files/RFolleteVitalizer.pdf)

Honeywell. (s.f.). Repuestos Honeywell. Recuperado el miercoles de Marzo de

2016, de Repuestos Honeywell: <http://www.honeywell.com>

López, J. B. (2013). repositoESPOCH. Recuperado el Lunes de Marzo de 2016,

de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3263/1/108T0076.pdf>

- Prieto, P. (lunes de octubre de 2007). Recursostic.ecuacion.es. Recuperado el viernes de Marzo de 2016, de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=3>
- Roberto Proaño, C. L. (2012). Repositorio Digital ESPE. Recuperado el Miercoles de Marzo de 2016, de Repositorio Digital ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5653/1/T-ESPE-033798.pdf>
- Rodriguez. (Diciembre de 2012). unac. Recuperado el viernes de Marzo de 2016, de [http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/IF\\_DICIEMBRE\\_2012/IF\\_RODRIGUEZ%20ABURTO\\_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf](http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf)
- VAPENSA. (06 de 12 de 2015). med.se-todo.com. Recuperado el jueves de Marzo de 2016, de <http://med.se-todo.com/pravo/8530/index.html>

---

## ANEXOS

### Anexo A

- Diagramas de bloques.

### Anexo B

- Diagrama de interconexiones eléctricas.

### Anexo C

- Diagramas P&ID.

### Anexo D

- Programación Micrologix 1100.