



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

AUTOR: OROZCO BYRON, RIVADENEIRA STALIN

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CLEAN IN
PLACE EN BASE A LA NORMA REGIONAL NTC 5245 PARA SEIS
ESTACIONES DE ORDEÑO EN LA HACIENDA LA ALBORADA
UBICADA EN LA PROVINCIA DEL CARCHI.**

DIRECTOR: ING. EDUARDO VIEIRA DE CARVALHO.

CODIRECTOR: ING. EDGAR FERNANDO TIPÁN CONDOLO.

SANGOLQUÍ, 17 DE JULIO DEL 2014

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CLEAN IN PLACE EN BASE A LA NORMA REGIONAL NTC 5245 PARA SEIS ESTACIONES DE ORDEÑO EN LA HACIENDA LA ALBORADA UBICADA EN LA PROVINCIA DEL CARCHI.**”, fue realizado en su totalidad por Byron Fernando Orozco Moreno y Stalin Andrés Rivadeneira Quiroz, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Ing. Eduardo Vieira de Carvalho

DIRECTOR

Ing. Edgar Fernando Tipán Condolo

CODIRECTOR

Sangolquí, 17 de Julio del 2014

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CLEAN IN PLACE EN
BASE A LA NORMA REGIONAL NTC 5245 PARA SEIS ESTACIONES DE
ORDEÑO EN LA HACIENDA LA ALBORADA UBICADA EN LA PROVINCIA
DEL CARCHI.”

ELABORADO POR:

Byron Fernando Orozco Moreno

Stalin Andrés Rivadeneira Quiroz

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA.

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Ing. Francisco Terneus.

Sangolquí, 17 de Julio del 2014

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Byron Fernando Orozco Moreno y Stalin Andrés Rivadeneira Quiroz, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CLEAN IN PLACE EN BASE A LA NORMA REGIONAL NTC 5245 PARA SEIS ESTACIONES DE ORDEÑO EN LA HACIENDA LA ALBORADA UBICADA EN LA PROVINCIA DEL CARCHI”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Byron Fernando Orozco Moreno

Stalin Andrés Rivadeneira Quiroz

Sangolquí, 17 de Julio del 2014

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mi Esposa, Cristina Elizabeth.

Stalin Andrés Rivadeneira Quiroz.

DEDICATORIA

A mis padres Zandra Moreno y Eddy Orozco, quienes con su apoyo y ejemplo han sabido guiarme por el camino correcto para alcanzar mis metas.

A mis hermanos Francisco y Gabriel, que siempre han estado a mi lado llenándome de alegrías y momentos inolvidables.

A mi hijo Emilio Alejandro, que ha sido el regalo más hermoso que me ha dado la vida; mi única fuente de inspiración y motivo de lucha y superación, TE AMO esto es para ti.

Byron Fernando Orozco Moreno.

AGRADECIMIENTOS

A la hacienda “La Alborada” por confiar en nosotros y por habernos permitido realizar este proyecto.

A nuestro director, Ing. Eduardo Vieira de Carvalho y codirector, Ing. Edgar Tipán por brindarnos las herramientas necesarias para completar el desarrollo de este proyecto.

A mi Esposa, Cristina Elizabeth, por haberme apoyado de forma moral y sentimental en el transcurso de este proyecto, confirmando así que el amor es esa energía extra que si se crea, desafiando a los principios de la física.

A mis padres, Kleber Rivadeneira y Edith Quiroz, que con una palabra de aliento, supieron guiar todos mis esfuerzos direccionándolos a alcanzar este objetivo.

A mis hermanos, Israel y Karen, quienes me han enseñado que existen muchos caminos para llegar a una solución

A mi compañero de Tesis, Byron, tu y yo sabemos que los sacrificios tienen sus recompensas.

A mis entrañables amigos y compañeros de aula, con quienes caminamos bajo el mismo objetivo, ser verdaderos profesionales.

Y a mi hija, Maite Lilian, que con su dulzura, su cariño, sus sorisas, me inspira crear, soñar, y alcanzar lo inimaginable.

Stalin Andrés Rivadeneira Quiroz.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que me ha dado la salud y ha sabido colocarme en el lugar y momento indicado.

A la hacienda “La Alborada” quienes nos apoyaron en todo momento y se convirtieron en una familia para nosotros.

A mis padres Zandra Moreno y Eddy Orozco que con su trabajo y esfuerzo me han brindado todo lo que he necesitado a lo largo de mi vida, han sabido aconsejarme y brindarme todo su amor, gracias por ser mis padres pero también mis amigos les amo.

A mi hermano Francisco que me ha dado fuerzas con sus consejos y cariño, gracias por no dejarme nunca hermano.

A ti Elenita Mejía, gracias por apoyarme en todo momento y brindarme tu cariño incondicional, por creer siempre en mí y brindarme tus consejos.

A mis churos queridas, Carolina y Gaby, que han sido un apoyo fundamental brindándome su cariño, escuchándome siempre que lo he necesitado y llenándome de alegrías.

A la familia Ruiz Cruz, que nos han acogido con cariño y respeto.

A mis amigos Alejandro Ruiz y Jorge Sánchez que siempre nos brindaron su apoyo incondicional y supieron darnos sus consejos oportunamente.

A mi amigo y compañero de Tesis Stalin, gracias por ayudar a construir este sueño y ser parte de uno de los momentos más importantes de mi vida, sin esfuerzo no hay victoria, gracias profeshor.

Al amor de mi vida Jessica Paredes que jamás me ha dejado solo a lo largo de todo este camino gracias amor por todo tu apoyo.

A mis amigos incondicionales, Diego y Milton, sin ustedes esto no hubiera sido posible, gracias por formar parte de este maravilloso grupo de trabajo.

A mis amigos y compañeros de aula, Alejo, George, Diego, Milton, Stalin, Rubén, Harold, Miguel, Andrea Orbe, Pato, Llopo, Iván, Porras, Luis, Pepo, Gudi, Mono, Monkiki, Pynki gracias por haber hecho de la vida universitaria, una verdadera vida en familia.

A mi Director Ing. Eduardo Vieira de Carvalho y mi Codirector Ing. Edgar Tipán, por guiarnos y brindarnos todo su apoyo para lograr culminar este proyecto.

A mi amigo Wilson Villacís por enseñarme que uno tiene que aprender a vivir con un poco de hambre y un poco de frío, gracias por guiarme todos estos años.

A mis amigos de toda la vida Jhonny Chávez, y Carlos Madrid, por compartir mis sueños y metas, y ser parte de ellos.

Byron Fernando Orozco Moreno.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1.1. ANTECEDENTES.	1
1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.	4
1.4. ALCANCE.....	6
1.4.1. SISTEMA MECÁNICO.	6
1.5. OBJETIVOS.	8
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
CAPÍTULO II.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. PROCESO DE ORDEÑO DEL GANADO VACUNO.....	10
2.2. FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA DE ORDEÑO.	12
2.3. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE LA LECHE.....	13
2.3.1. RECUENTO DE CÉLULAS SOMÁTICAS (RCS).....	14
2.3.2. UNIDAD FORMADORA DE COLONIAS (UFC).	14
2.3.3. INHIBIDORES PRESENTES EN LA LECHE.....	15
2.4. PROCESO DE LIMPIEZA DEL SISTEMA DE ORDEÑO DE LECHE.....	16
2.4.1. LIMPIEZA CON DETERGENTE ALCALINO.	18

2.4.2.	LIMPIEZA CON DETERGENTE ÁCIDO.....	18
2.4.3.	SANITIZADOR.....	19
2.5.	SISTEMAS CLEAN IN PLACE (CIP).....	19
2.5.1.	DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS CIP.....	19
2.5.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS CIP.....	20
2.5.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CIP.....	22
2.5.3.1.	CIP CENTRALIZADO.....	23
2.5.3.2.	CIP DESCENTRALIZADO.....	23
2.5.4.	APLICACIONES DE LOS SISTEMAS CIP.....	24
	CAPÍTULO III.....	26
3.	ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE UN SISTEMA CIP.....	26
3.1.	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	26
3.2.	POSIBLES SOLUCIONES.....	28
3.2.1.	ETAPA DE CALENTAMIENTO.....	28
3.2.2.	ETAPA DE DOSIFICACIÓN.....	28
3.2.3.	INTERFÁZ HUMANO MÁQUINA (HMI).....	29
3.2.4.	CONTROL AUTOMÁTICO SECUENCIAL.....	29
3.3.	SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	30
3.3.1.	ETAPA DE CALENTAMIENTO.....	30
3.3.2.	ETAPA DE DOSIFICACIÓN.....	31
3.3.3.	HMI.....	31

3.3.4. CONTROL AUTOMÁTICO SECUENCIAL.	32
CAPÍTULO IV.....	33
4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA CIP.	33
4.1. SISTEMA MECÁNICO.	33
4.1.1. DISEÑO DEL CALENTADOR DE AGUA.	33
4.1.1.1. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA.	33
4.1.1.2. SELECCIÓN DE LA FUENTE ENERGÉTICA.....	37
4.1.1.3. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL SERPENTÍN.	40
4.1.1.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.	45
4.1.1.5. SELECCIÓN DE LA TOBERA DE ATOMIZACIÓN.....	65
4.1.1.6. CÁLCULO DE LA CHIMENEA.	69
4.1.2. DISEÑO DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO.	75
4.1.3. SELECCIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO.	80
4.1.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.....	82
4.1.5. CÁLCULO DE LAS BOMBAS DE RECIRCULACIÓN.	88
4.1.5.1. RECIRCULACIÓN EN EL CALENTAMIENTO.....	90
4.1.5.2. RECIRCULACIÓN EN LA DESCARGA.	109
4.2. SISTEMA ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO.....	112
4.2.1. IDENTIFICACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES.	112
4.2.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES Y DISPOSITIVOS.	115
4.2.2.1. BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA.	115

4.2.2.2.	BOMBAS DE REACTIVOS.....	116
4.2.2.3.	ELECTROVÁLVULAS.....	117
4.2.2.4.	QUEMADOR DE DIESEL.....	121
4.2.2.5.	SENSORES DE NIVEL.....	122
4.2.2.6.	CONTROLADOR DE NIVEL.....	123
4.2.2.7.	SENSOR DE TEMPERATURA.....	124
4.2.2.8.	CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	125
4.2.2.9.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	127
4.2.2.10.	LUCES INDICADORAS.....	131
4.2.3.	SELECCIÓN DE PROTECCIONES Y ELEMENTOS DE MANIOBRA.....	132
4.2.3.1.	SELECCIÓN DE CONTACTORES Y RELES TÉRMICOS.....	132
4.2.3.2.	SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO.....	134
4.3.	SISTEMA DE CONTROL.....	136
4.3.1.	CONTROL SECUENCIAL DEL PROCESO.....	136
4.3.2.	CONTROL DE TEMPERATURA.....	141
4.3.2.1.	INSTALACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	141
4.3.3.	CONTROL DE NIVEL.....	142
4.3.4.	INTERFÁZ HUMANO MÁQUINA (HMI).....	144
	CAPÍTULO V.....	149
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CIP.....	149
5.1.	ETAPA DE CALENTAMIENTO.....	149

5.1.1.	TANQUE DE CALENTAMIENTO.	150
5.2.	ETAPA DE ALMACENAMIENTO Y SENSADORA.....	151
5.3.	ETAPA DE DOSIFICACIÓN.	153
5.4.	RECIRCULACIONES EN EL SISTEMA.	155
5.5.	SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL.....	155
	CAPÍTULO VI.....	158
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	158
6.1.	CONCLUSIONES.	158
6.2.	RECOMENDACIONES.....	160
	BIBLIOGRAFÍA	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Metodología de calentamiento de agua.	5
Figura 1.2 Recipiente para la dosificación.	5
Figura 1.3 Diagrama de bloques de las conexiones Eléctricas-Electrónicas.	7
Figura 1.4 Diagrama de control de temperatura.	8
Figura 2.1 Funcionamiento del sistema de ordeño mecánico.	11
Figura 2.2 Diagrama general del proceso de limpieza.	16
Figura 2.3 Diagrama del proceso de lavado rutinario.	17
Figura 2.4 Diagrama del proceso de lavado especial.	17
Figura 2.5 Características de un sistema Clean in Place.	22
Figura 2.6 Diagrama de funcionamiento de un CIP Centralizado.	23
Figura 2.7 Diagrama de funcionamiento de un Sistema CIP Descentralizado.	24
Figura 2.8 Sistema CIP Descentralizado.	24
Figura 2.9 Principales aplicaciones de los Sistemas CIP.	25
Figura 3.1 Quemador de diesel.	31
Figura 3.2 Tablero de Control.	32
Figura 3.3 Controlador lógico programable (PLC).	32
Figura 4.1 Quemador a gasóleo RIELLO 40 F10.	37
Figura 4.2 Hoja técnica quemadores RIELLO.	38
Figura 4.3 Pirómetro digital con el que se realizó las pruebas.	39
Figura 4.4 Posicionamiento recomendado para los tubos de un serpentín.	46
Figura 4.5 Dimensiones recomendadas para la cámara de combustión.	47
Figura 4.6 Distancias en [mm] para separación entre tubos del serpentín.	50
Figura 4.7 Accesorio U para la unión del serpentín.	50
Figura 4.8 Arreglo de los tubos del serpentín.	52
Figura 4.9 Dimensiones para la obtención del volumen de cobre.	56
Figura 4.10 Tanque de calentamiento con soporte para el serpentín.	64
Figura 4.11 Toberas o boquillas de atomización.	65
Figura 4.12 Detalle de los componentes del quemador a diesel.	65
Figura 4.13 Ángulos de la boquilla del quemador.	66
Figura 4.14 Boquilla Danfoss modelo 030B0114.	68
Figura 4.15 Chimenea con desalojo de gases por tiro forzado.	70
Figura 4.16 Chimenea con desalojo de gases con tiro natural.	71
Figura 4.17 Diagrama esquemático del sistema de limpieza.	76
Figura 4.18 Depósito de almacenamiento.	78
Figura 4.19 Resistencia al flujo de calor dado por un aislante.	80
Figura 4.20 Aislante de lana vídrica.	81
Figura 4.21 Sistema de dosificación mediante electroválvula.	83
Figura 4.22 Flujos de agua y reactivo dentro del dosificador.	83
Figura 4.23 Modificación al sistema de dosificación.	84
Figura 4.24 Flujo del agua y reactivo debido a la modificación.	85
Figura 4.25 Sistema de Dosificación de tres reactivos.	86
Figura 4.26 Bomba centrífuga.	88
Figura 4.27 Ley de la conservación de la energía.	89
Figura 4.28 Circuito de calentamiento.	90
Figura 4.29 Coeficiente de resistencia de entrada.	99
Figura 4.30 Diagrama P&ID del sistema CIP.	114

Figura 4.31 Bomba para la dosificación de reactivos.	117
Figura 4.32 Electroválvula plástica usada en el sistema CIP.	118
Figura 4.33 Electroválvula de acero inoxidable usada en el sistema CIP.	119
Figura 4.34 Sensor de nivel para el almacenamiento de reactivos del sistema CIP.	122
Figura 4.35 Controlador de nivel usado en el sistema CIP.	123
Figura 4.36 Sensor Pt – 100 usado en la medición de temperatura del sistema CIP.	125
Figura 4.37 Controlador de temperatura.	126
Figura 4.38 PLC Siemens S7-1200 CPU 1214.	129
Figura 4.39 Módulo de 16 salidas a relé Siemens SM 1222 DQ.	130
Figura 4.40 Luces piloto usadas en el sistema CIP.	131
Figura 4.41 Contactores usados en el sistema CIP.	133
Figura 4.42 Relés usados en el sistema CIP.	133
Figura 4.43 Interruptor termomagnético usado en el sistema CIP.	136
Figura 4.44 Diagrama de proceso general.	137
Figura 4.45 Diagrama de rutina de calentamiento.	138
Figura 4.46 Diagramas de las rutinas de dosificación de reactivos.	139
Figura 4.47 Diagrama de rutina de enjuague.	140
Figura 4.48 Distribución de pines del controlador de temperatura.	142
Figura 4.49 Distribución de electrodos dentro del tanque.	143
Figura 4.50 Diagrama de conexión del controlador de nivel.	144
Figura 4.51 Interruptor general del sistema CIP.	144
Figura 4.52 Dispositivos de control del sistema CIP.	145
Figura 4.53 Indicadores para la limpieza ordinaria en el sistema CIP.	146
Figura 4.54 Indicadores para la limpieza especial en el sistema CIP.	146
Figura 4.55 Indicadores de nivel bajo en los reactivos del sistema CIP.	147
Figura 4.56 Paro de emergencia e indicador de activación.	147
Figura 4.57 HMI del sistema CIP.	148
Figura 5.1 Calentador de agua.	149
Figura 5.2 Cuerpo interno del tanque de calentamiento.	150
Figura 5.3 Serpentin del tanque de calentamiento.	151
Figura 5.4 Forro del tanque de calentamiento.	151
Figura 5.5 Tanque de almacenamiento.	152
Figura 5.6 Muro de protección de la etapa de calentamiento del sistema CIP.	152
Figura 5.7 Dosificador de reactivo.	153
Figura 5.8 Modificación del ramal horizontal del dosificador.	154
Figura 5.9 Dosificadores del sistema CIP.	154
Figura 5.10 Bombas de recirculaciones en el sistema CIP.	155
Figura 5.11 Disposición de los elementos de control eléctrico.	156
Figura 5.12 Interfaz Humano Máquina del sistema CIP.	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Posibles soluciones para la fuente de calentamiento.	28
Tabla 3.2 Posibles soluciones para la dosificación de reactivos.	29
Tabla 3.3 Posibles soluciones para la HMI.	29
Tabla 3.4 Posibles soluciones para el Controlador.	30
Tabla 4.1 Propiedades del agua Saturada.	35
Tabla 4.2 Pérdidas en calderas.	36
Tabla 4.3 Datos experimentales de temperatura tomados en ambiente cerrado.	40
Tabla 4.4 Valores típicos del coeficiente de calor por convección.	43
Tabla 4.5 Densidades de los materiales utilizados.	58
Tabla 4.6 Características de la boquilla seleccionada.	68
Tabla 4.7 Composición de los gases de combustión.	69
Tabla 4.8 Tomas experimentales de la temperatura de salida de los gases.	72
Tabla 4.9 Propiedades del Diesel en procesos de combustión.	74
Tabla 4.10 Espesor del aislante para cada sección del sistema.	82
Tabla 4.11 Partes que constituyen el sistema de dosificación automático.	87
Tabla 4.12 Números de Reynolds críticos.	94
Tabla 4.13 Valores de diseño de la rugosidad de tubos.	95
Tabla 4.14 Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería Le/D.	100
Tabla 4.15 Total de pérdidas primarias en la sección de calentamiento.	105
Tabla 4.16 Total de pérdidas secundarias en la sección de calentamiento.	106
Tabla 4.17 Características bomba Pedrollo CPM600.	109
Tabla 4.18 Comparativo entre agua y leche.	111
Tabla 4.19 Características bomba Pedrollo CPM650.	112
Tabla 4.20 Sensores y actuadores que conforman el sistema CIP.	113
Tabla 4.21 Características eléctricas de la bomba MY-01.	116
Tabla 4.22 Características eléctricas de la bomba MY-02.	116
Tabla 4.23 Características eléctricas de las bombas de dosificación de reactivos.	117
Tabla 4.24 Características de las válvulas a utilizar.	120
Tabla 4.25 Características de las válvulas seleccionadas.	121
Tabla 4.26 Características eléctricas del quemador de Diesel.	121
Tabla 4.27 Características eléctricas del sensor de nivel.	122
Tabla 4.28 Características eléctricas controlador de nivel.	123
Tabla 4.29 Rangos de temperatura de los sensores considerados.	124
Tabla 4.30 Características eléctricas controlador de temperatura del sistema CIP.	127
Tabla 4.31 Número de entradas necesarias en el PLC.	128
Tabla 4.32 Número de salidas necesarias en el PLC.	128
Tabla 4.33 Características del PLC a adquirir.	129
Tabla 4.34 Características del PLC Siemens S7-1200 CPU 1214.	130
Tabla 4.35 Características del módulo de salidas a relé Siemens SM 1222 DQ.	131
Tabla 4.36 Características eléctricas de las luces piloto seleccionadas.	132
Tabla 4.37 Corrientes para la selección de contactores y térmicos.	132

Tabla 4.38 Contactores y relés seleccionados.	134
Tabla 4.39 Corrientes de los elementos eléctricos usados en el sistema CIP....	135
Tabla 4.40 Características del interruptor termomagnético seleccionado.....	135

RESUMEN

El “Diseño y construcción de un sistema Clean in Place para seis estaciones de ordeño en la hacienda “La Alborada” ubicada en la provincia del Carchi”, se desarrolla para satisfacer las necesidades de la hacienda en la medida de mejorar la calidad higiénica de la leche ya que la limpieza del sistema de ordeño se hace indispensable luego de cada sesión ordeño. Este proyecto diseñado para realizar una limpieza integral del sistema de ordeño tiene la posibilidad de dos tipos de limpieza, una rutinaria y una especial. La primera remueve de los ductos la grasa y la segunda la piedra de leche. Debido a los detergentes que se usan para cada lavado, los mismos que necesitan temperaturas específicas para que reaccionen correctamente, se diseña una etapa de calentamiento de agua, una etapa de dosificación de reactivos y una etapa de descarga. El sistema CIP dosifica la cantidad exacta de los detergentes y posteriormente recircula la mezcla por la red de tuberías, pezoneras y ductos limpiándolos y sanitizándolos. Es un sistema completamente automático y fácil de operar, ha sido diseñado bajo la norma Técnica Colombiana NTC-5245 “PRÁCTICAS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN PARA PLANTAS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA LÁCTEA” asegurando así que la limpieza realizada se encuentre lo más apegado posible a las normas que rigen la calidad de la leche a nivel nacional e internacional.

Palabras Clave: Limpieza, Automático, Clean in Place, Industria Láctea, Calcificación de Proteína.

ABSTRACT

The "Design and Construction of a Clean in Place system for milking six stations on the farm "La Alborada" located in the province of Carchi", is developed to meet the needs of the estate to the extent of improving the sanitary quality of milk and cleaning the milking system is indispensable after each milking session. This project designed for cleaning integrated milking system has the possibility of two types of cleaning, routine and special. The first removes grease ducts and the second stone milk. Due to the detergents used for each wash, the same specific temperatures needed to react properly, a step of heating of water, reagent metering stage and discharge stage is designed. The CIP system dispenses the exact amount of the detergent mixture and then recirculated through the network of pipes, liners and wiping and disinfecting pipelines. It is a fully automatic and easy to operate system has been designed under the Technical Standard Colombiana NTC-5245 "PRACTICES FOR CLEANING AND DISINFECTION PLANT AND EQUIPMENT USED IN THE DAIRY INDUSTRY" ensuring that the cleaning process is placed as attached as possible standards governing the quality of milk nationally and internationally.

Keywords: Clean, Automatic, Clean in Place, Dairy Industry, Protein calcification.

CAPÍTULO I

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CLEAN IN PLACE PARA SEIS ESTACIONES DE ORDEÑO EN LA HACIENDA LA ALBORADA UBICADA EN LA PROVINCIA DEL CARCHI.”

1.1. ANTECEDENTES.

Actualmente más del 90% de productores de leche poseen en sus haciendas sistemas de ordeño mecánico para la extracción de leche, este proceso se basa en la succión por medio de una bomba de vacío, la leche es almacenada en un tanque de enfriamiento a 4°C de temperatura. Luego de esto es necesario realizar un proceso de limpieza en todo el sistema de ordeño, removiendo los residuos de leche, y evitando que se forme la sedimentación y calcificación de la proteína, lo que se denomina piedra de leche.

Para conocer la calidad higiénica de la leche obtenida se realizan los siguientes análisis (Santana & Uribe, 2006):

- Recuento de Células Somáticas (RCS)
- Unidad Formadora de Colonias (UFC)
- Inhibidores presentes en la leche.

Más del 80% de los productores de leche en la provincia del Carchi realizan la limpieza de manera manual, lo que ocasiona el exagerado consumo de

reactivos, la demora en la limpieza y en algunos de los casos incluso afecta directamente a la calidad de la leche.

LA ALBORADA, es una hacienda agrícola privada dedicada a la producción de leche de ganado vacuno. En 1979, empezó produciendo 100 litros de leche diarios realizando todos sus procesos netamente manuales. Actualmente la empresa se ha expandido y mediante la reproducción del ganado obtiene leche de mejor calidad. Gran parte de su producción la comercializa con la pasteurizadora “La Floralp”, cliente mayoritario, con casi 700 litros de leche diaria.

Debido a que la asepsia constituye una de las principales normativas dentro de la industria alimenticia, la hacienda LA ALBORADA ha pensado en la implementación de un sistema automatizado de limpieza en sus tuberías de succión de leche.

Con 50 cabezas de ganado y un buen manejo administrativo la actividad les proporciona una utilidad neta de 50 000 dólares anuales.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Las normas higiénicas que rigen la producción de alimentos poseen estándares bastante altos para que dichos productos puedan ser comercializados. En la industria láctea, la calidad bacteriológica es el factor determinante de su comercialización ya que de este depende el precio de la leche cruda.

La calidad bacteriológica, es decir el contenido de gérmenes responsables de su descomposición está dada por las Unidades Formadoras de Colonias (UFC). La leche de buena calidad debería contener un valor menor a 100000 unidades formadoras de colonias por centímetro cúbico. (De la Vega, 2005, pág. 1)

La leche al momento de ser ordeñada circula por las tuberías de succión hasta depositarse en un tanque de enfriamiento el cual permitirá mantenerla fresca hasta el momento de su procesamiento, durante este proceso, la grasa que contiene la leche, se impregna en las paredes de las tuberías calcificándose y formando la denominada “piedra de leche”, la cual es la directa responsable del aumento de las UFC.

Para eliminar la piedra de leche se deben cumplir con rigurosos tratamientos de higiene que incluyen el lavado interno de la tubería que compone el sistema de ordeño mecánico. Este proceso de limpieza deberá incluir detergentes y reactivos sanitizadores que permitan descomponer la piedra de leche y desinfectar el sistema para un próximo uso.

Dado que este proceso se lo realiza de manera manual y un tanto empírica casi en el 95% de los productores, y aunque en la mayoría de estos su proceso da resultados aceptables, la pérdida en tiempo e insumos es considerable, lo que los ha llevado a buscar nuevas maneras de mejorar su higiene eliminando tiempos muertos y abaratando costos.

Es por esto que la hacienda LA ALBORADA pensado en llegar a ser día a día más competitiva ha decidido implementar un sistema “Clean in Place”, el cual presenta una limpieza completamente automática que mejorará la higiene, el tiempo de lavado, disminuirá las pérdidas por mala dosificación de los reactivos y por ende aumentará la calidad de la leche cruda.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

Siendo la reducción de tiempos y costos algunos de los factores más importantes en cualquier industria, y además en este caso la higiene un parámetro determinante de la calidad de un producto, se necesita que estos se optimicen al máximo por medio del método más conveniente. Pudiendo llegar a esto solamente con la implementación de un sistema automático de limpieza que brinde todas las garantías necesarias para su uso diario.

Para la limpieza del sistema de ordeño se calentaba agua por medio de un quemador a gas, sin contar con ningún control de temperatura que ayude a que tanto el detergente ácido como el detergente alcalino que se usan para remover la piedra de leche reaccionen de manera adecuada.



Figura 1.1 Metodología de calentamiento de agua.

El recipiente con agua caliente se traslada de forma manual hacia otro tanque para el proceso de dosificación. La mezcla de los reactivos de limpieza se la realiza por medio de un operador, además para llevar a cabo este proceso se debe desinstalar una parte del sistema de ordeño para realizar el lavado lo cual implica un riesgo para el equipo y un paro en la producción de leche.



Figura 1.2 Recipiente para la dosificación.

Con la implementación de un sistema “Clean in Place” se pretende mejorar el proceso de limpieza del sistema de ordeño mecánico, de una forma significativa, ya que automatizando secuencialmente las etapas del proceso se van corrigiendo fallas de temperatura incorrecta del agua, dosificación inexacta de los reactivos, tiempos inadecuados de recirculaciones, pérdidas de velocidad del fluido etc.

1.4. ALCANCE.

1.4.1. SISTEMA MECÁNICO.

Se diseñará un sistema de calentamiento de agua eficiente por combustión de gasóleo, que entregue la capacidad calorífica necesaria para elevar un caudal de 20 Lt/min de agua a la temperatura requerida por cada uno de los detergentes (ácido y alcalino). Esta selección se da debido a la restricción en el consumo de gas que presenta la zona de Chutan Bajo- Provincia del Carchi en la que se encuentra ubicada la hacienda.

Se diseñará un sistema de dosificación exacto el cual nos permita obtener la cantidad necesaria de cada reactivo y que al homogenizar la mezcla aumente la efectividad de la limpieza.

Se seleccionará una bomba para efectuar las recirculaciones en el equipo de ordeño, elevando la velocidad interna del fluido como se indica en la sección 7 numeral 27 de la Norma Técnica Colombiana NTC 5245.

1.4.2. SISTEMA ELECTRÓNICO / ELÉCTRICO.

El sistema electrónico constituye una parte esencial dentro del proceso, ya que en este se realizará todo el control secuencial automático de limpieza así como todos los elementos necesarios para la lectura y procesamiento de las variables como son lectura de temperatura y nivel, tiempo de apertura de válvulas y accionamiento de la bomba.

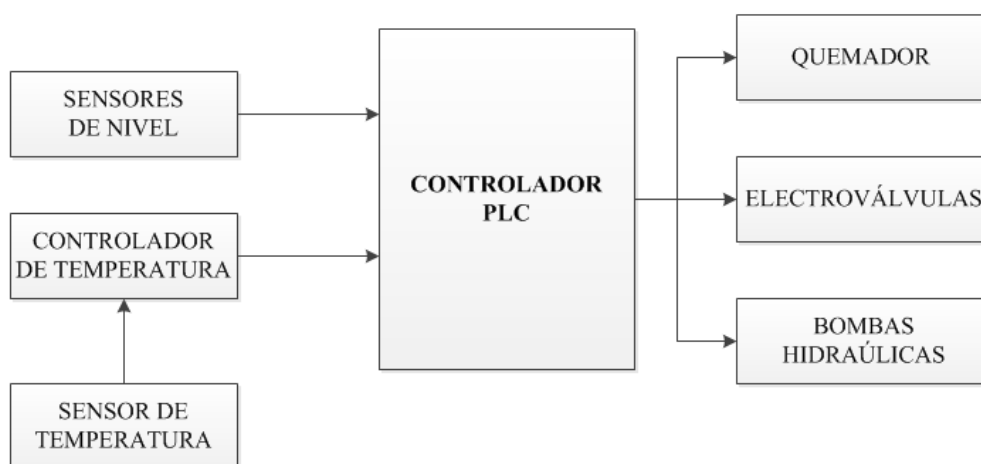


Figura 1.3 Diagrama de bloques de las conexiones Eléctricas-Electrónicas.

Se implementará un sensor de temperatura con un rango entre 10°C y 100°C, y un controlador que nos permita seleccionar la temperatura a la que se deseará llegar, además este controlador enviará la señal al PLC para continuar con la secuencia.

Se detectará el nivel del tanque de almacenamiento mediante un sensor de electrodos, y tres sensores tipo switch que se usarán para determinar la existencia

o no de los reactivos, las electroválvulas serán accionadas por medio de las salidas de relé del Controlador Lógico Programable.

1.4.3. SISTEMA DE CONTROL.

Se realizará un control secuencial del proceso mediante condiciones lógicas dependiendo de la señal de los sensores y de los tiempos programados para cada ejecución.

Se controlará el encendido y apagado del quemador por medio de un lazo cerrado para mantener la temperatura del agua como se indica en la Figura 1.4.

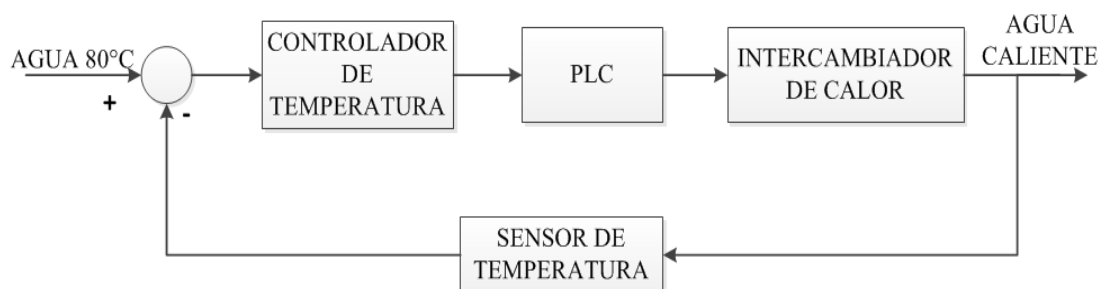


Figura 1.4 Diagrama de control de temperatura.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar y construir un sistema “Clean in Place” automatizando el proceso de limpieza en el sistema de ordeño mecánico de la hacienda la “LA ALBORADA”.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Diseñar la etapa de calentamiento, mediante el análisis de intercambiadores de calor para proporcionar agua a la temperatura requerida.

Diseñar la etapa de dosificación, por medio de un dispositivo económico, sencillo de ensamblar y de alta precisión para suministrar las cantidades de reactivos necesarios en cada proceso.

Seleccionar las tuberías del sistema de limpieza, la bomba, los elementos de control, sensores y actuadores.

Instalar el sistema mecánico, eléctrico y de control formando así un sistema Mecatrónico completo que satisfaga las necesidades del cliente.

Programar el algoritmo de control del PLC y realizar las pruebas correspondientes para asegurar una fácil operación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. PROCESO DE ORDEÑO DEL GANADO VACUNO.

El ordeño es una actividad agrícola cuyo objetivo principal, es extraer y recolectar la leche vacuna, cumpliendo con dos parámetros fundamentales, obtener leche de buena calidad higiénica, y mantener la integridad del animal intacta.

El proceso de ordeño se lo realiza 2 veces por jornada una en la mañana y la segunda por la tarde, cumpliendo una serie de pasos de forma estricta y ordenada.

En primera instancia, el ordeñador, debe estar con ropa limpia, malla para cabello, botas de caucho, y sin cortes ni lastimados en sus manos, si usa guantes deben estar correctamente sanitizados y limpios.

Para extraer la leche sin contaminación, primero se debe lavar el equipo de ordeño y eliminar cualquier partícula infecciosa que pueda estar adherida a los pezones, desinfectando con “pre-sello” para luego secarlas con toallas de papel desechables.

Antes de empezar con el ordeño, es necesario “despuntar” a la vaca, obteniendo los 3 primeros chorros de leche de forma manual con el fin de analizar las muestras e identificar posibles enfermedades.

Una vez que se han cumplido estos pasos, se coloca la unidad de ordeño de forma cuidadosa, y armónica, evitando tener contacto de las pezoneras con el suelo. Durante este proceso se recolecta la leche por medio de una bomba de vacío hacia un tanque frío.

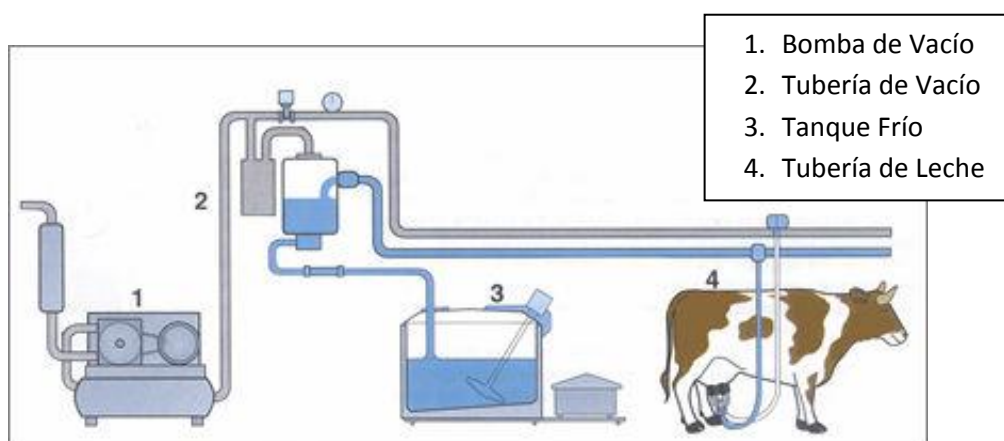


Figura 2.1 Funcionamiento del sistema de ordeño mecánico.

(Puleva Salud)

Una vez extraída la leche, se retira la unidad de ordeño, previa desconexión de la bomba de vacío.

Por último, se humectan los pezones con “sello”, solución germicida, la cual tiene como fin evitar la entrada de microorganismos a la ubre por la punta del pezón hasta que el conducto del mismo se cierre de forma natural.

Luego de esto es necesario lavar y desinfectar todos los instrumentos utilizados inmediatamente terminado el proceso de ordeño, cumpliendo con la norma NTC 5245 que rigen los procesos de limpieza en industrias lácteas en esta región. Esto es muy importante ya que si se deja pasar mucho tiempo la leche tiende a solidificarse pegándose en los conductos y aumentando las unidades formadoras de colonias bacterianas.

2.2. FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA DE ORDEÑO.

Con la industrialización de los procesos y con el afán de producir mayor cantidad de leche en menor tiempo y de mejor calidad, el ordeño manual a gran escala se convirtió en un ordeño mecánico práctico, que ha mejorado dichos aspectos reduciendo el número de ordeñadores y mejorando la calidad higiénica de la leche.

Este nuevo proceso en la actualidad permite instalar estaciones de ordeño de más de diez cabezas de ganado a la vez, las cuales son ordeñadas con la mejor técnica y cuidado posible, sin afectar la integridad del animal y adicionalmente permitiendo transportar toda la leche extraída hacia un mismo tanque sin la manipulación de ningún operador.

La figura 2.1 muestra un esquema básico de cómo es el sistema de ordeño mecánico, en la cual se puede observar que por medio de una bomba de vacío, que muchas veces tiene un generador propio, crea una presión negativa en el conducto principal de vacío, en el tanque recolector y en las pezoneras, dando el efecto de succión sobre la ubre de la vaca. Este efecto que es intermitente, se consigue

mediante un equipo electrónico llamado pulsador que por un periodo de tiempo de 1 segundo, libera el vacío y nuevamente vuelve a cerrar generando la misma presión negativa que en un inicio transportando la leche por el conducto principal hacia el recipiente receptor, de donde es enviado a un tanque frío para su posterior almacenamiento.

2.3. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE LA LECHE.

Actualmente la calidad de un producto ya no solo es tomada en cuenta por los industriales, sino también por los mismos consumidores quienes ya empiezan a interesarse en este tema.

Una rutina de ordeño adecuada y una limpieza óptima del equipo están directamente relacionadas con la calidad higiénica y composicional de la leche. Para conocer dicha calidad se requieren tres análisis importantes, los cuales determinan la cantidad de bacterias, células contaminadas, y sustancias químicas que puedan estar contaminando la leche, estos análisis son:

- Recuento de Células Somáticas (RCS)
- Unidad Formadora de Colonias (UFC)
- Inhibidores presentes en la leche.

2.3.1. RECUENTO DE CÉLULAS SOMÁTICAS (RCS).

Las células somáticas son células del organismo animal que se encuentran presentes en la leche en niveles bajos, la mayoría de estas son leucocitos aunque también existen células de la ubre y de descamación epitelial. El recuento de células somáticas, mide la cantidad de leucocitos (glóbulos blancos) presentes en la leche.

Las principales razones para que el recuento de células somáticas este elevado son:

1. La vaca está infectada con microorganismos causantes de mastitis.
2. La vaca está en periodo final de lactancia.
3. La ubre ha sufrido alguna lesión.

Con esto principalmente se evalúa el estado sanitario de la ubre, fundamentalmente mastitis. La cantidad de estas células debe ser menor a 500.000 RCS por mililitro. (De la Vega, 2005, pág. 1)

2.3.2. UNIDAD FORMADORA DE COLONIAS (UFC).

Este es el principal parámetro para clasificar la leche según su calidad bacteriológica, es decir la cantidad de gérmenes (bacterias/mililitro) responsables de su descomposición y su nivel de acidez.

Estas colonias se multiplican a cierta temperatura de ahí la importancia de dar un enfriamiento adecuado a la leche. Para evitar este fenómeno se debe realizar la ordeña con un máximo de higiene y enfriarla lo antes posible.

La limpieza adecuada y oportuna del sistema de ordeño por medio de detergentes alcalinos, ácidos y sanitizadores, ayuda a eliminar de manera importante la reproducción de bacterias, este parámetro no debe superar las 100 000 UFC/ml. (De la Vega, 2005, pág. 1)

2.3.3. INHIBIDORES PRESENTES EN LA LECHE.

Los inhibidores son concentraciones de sustancias químicas antimicrobianas o antibióticos naturales o sintéticos, que aparecen en la leche y que son diferentes a los componentes normales del fluido.

La presencia de estos crea un problema en el procesamiento y en el consumo industrial, además de causar serios problemas de salud.

Para evitar la presencia de inhibidores se recomienda marcar al ganado que se encuentre recibiendo tratamiento con antibióticos y llevar un registro de estos tratamientos. (Santana & Uribe, 2006, págs. 1-4)

2.4. PROCESO DE LIMPIEZA DEL SISTEMA DE ORDEÑO DE LECHE.

La limpieza de los equipos e instrumentos de ordeño están regidas bajo normas según su localidad. En vista de que en nuestro país el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN no posee una norma para estos procedimientos nos regiremos a la norma regional colombiana NTC-5245 la cual indica claramente cómo se debe realizar el proceso de limpieza de un equipo de ordeño mecánico especificando reactivos, ciclos, tiempos de recirculación entre otros.

El proceso de limpieza, diagramado en la figura 2.2, muestra la secuencia de los pasos a realizar según la norma. Donde el operador selecciona según el día del cronograma el tipo de limpieza a realizar.

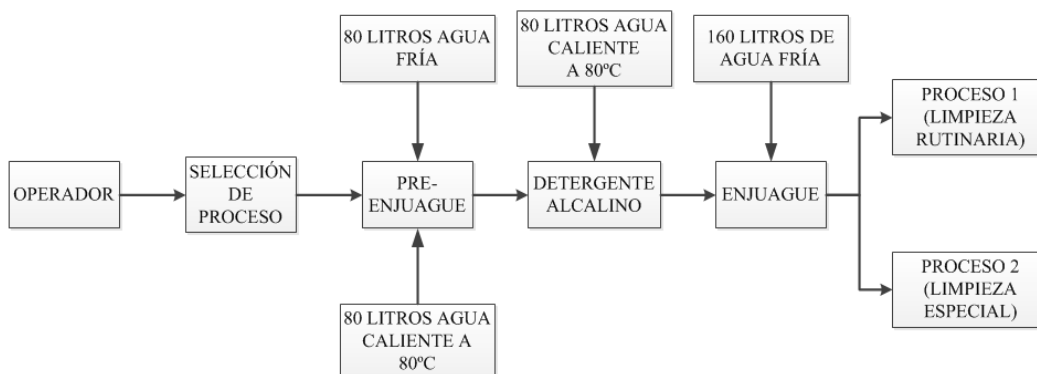


Figura 2.2 Diagrama general del proceso de limpieza.

Si el operador seleccionó una limpieza rutinaria, ingresa agua fría y se concluye el proceso, el diagrama de la figura 2.3 muestra la fase final del lavado rutinario.



Figura 2.3 Diagrama del proceso de lavado rutinario.

Por el contrario si el operador seleccionó una limpieza especial, se hace circular por el sistema agua con otro tipo de detergente. Se vuelve a enjuagar y se sanitiza como paso final. El diagrama de la figura 2.4 muestra el ciclo de limpieza especial.

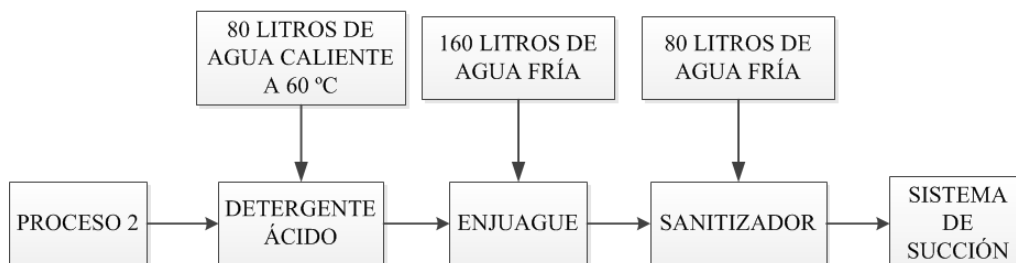


Figura 2.4 Diagrama del proceso de lavado especial.

Por esto es importante elaborar un cronograma para la limpieza de nuestro sistema de ordeño. Es decir, pasando un día habrá una jornada de limpieza especial usando detergentes ácidos, además de la limpieza rutinaria usando detergente alcalino.

Por ejemplo, los días lunes, miércoles y viernes después del primer ordeño se realizará la limpieza especial.

2.4.1. LIMPIEZA CON DETERGENTE ALCALINO.

Los detergentes alcalinos, compuestos por Base Alcalina 425 g/Lt y Dióxido de cloro 130 g/Lt, estos desinfectan sin generar espuma, abarcan un amplio espectro de aplicaciones, como pasteurizadoras, equipos mecánicos de ordeño, empacadoras, embotelladoras, etc. sin dejar olor y sabor. La dosis del detergente alcalino que se debe añadir es de 1 ml por cada litro de agua. (Neoquim Cia. Ltda., págs. 1-2).

Se lo utiliza como limpiador alcalino, eliminando rápidamente proteínas, carbohidratos, residuos secos y grasas.

En este caso se removerá la grasa natural de la leche de los conductos mezclando el detergente con agua a 80°C y recirculando por el sistema de 10 a 15 minutos como indica la norma NTC-5245.

2.4.2. LIMPIEZA CON DETERGENTE ÁCIDO.

El detergente ácido, compuesto por Ácidos Minerales 530 g/Lt y Tensoactivos 110 g/Lt, es un detergente altamente concentrado con base en secuestrantes de impurezas que impiden la formación de la “Piedra de Leche” en procesadoras lácteas. El volumen del detergente ácido que se debe añadir es de 1 ml por cada litro de agua. (Neoquim Cia. Ltda., págs. 1-2)

2.4.3. SANITIZADOR.

El sanitizador es un compuesto clorado, que impide la proliferación de bacterias, desinfectando y esterilizando el equipo de ordeño.

Este es el proceso final del ciclo de limpieza y no necesita de enjuague, se debe mezclar 2 ml de sanitizador por cada litro de agua que se use para este paso final. (De la Vega, 2005)

2.5. SISTEMAS CLEAN IN PLACE (CIP).

2.5.1. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS CIP.

Los sistemas de limpieza in situ, realizan tareas programadas de limpieza, desinfección y esterilización, de industrias necesariamente higiénicas, como la alimenticia o la farmacéutica, sin la necesidad de desmontar los componentes que la constituyen, como por ejemplo, ductos, accesorios, acoples, válvulas, depósitos, tanques, compartimientos, bombas, etc. Estas tareas tomarían mucho tiempo si se las realiza manualmente.

Estos sistemas fueron creados con la consigna de mantener una buena higiene dentro de las industrias ya que esto es una parte fundamental dentro de sus procesos y no una opción, su desarrollo fue basado tomando en cuenta una alternativa que reduzca los tiempos, optimice los recursos y no ponga en riesgo la integridad de los operadores.

2.5.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS CIP.

La función de la unidad de limpieza in situ es la de preparar las soluciones de limpieza en la concentración y temperatura adecuadas, programar los distintos ciclos necesarios para la limpieza de todos los elementos de la planta, controlando variables como temperatura, caudal y/o presión. Además, debe funcionar de una manera ordenada, minimizando el consumo energético, y manteniendo la versatilidad en los programas de limpieza.

Se consideran tres etapas principales que conforman los sistemas CIP.

Etapas de Calentamiento

En esta etapa se prepara el agua que posteriormente será mezclada con los reactivos de limpieza. El calentar el agua es un requerimiento importante para dicha mezcla ya que los detergentes únicamente reaccionan a temperaturas específicas.

Existen varios métodos de calentamiento unos más complejos que otros y que son implementados de acuerdo a las facilidades del cliente.

En la actualidad tomando en cuenta las energías renovables se han diseñado calentadores híbridos (solar-eléctrico) a un costo elevado pero que a largo plazo resultan rentables, también están los tradicionales de combustión de GLP o de Gasóleo con altas eficiencias pero con un consumo considerable de combustible y mayor contaminación hacia el medio ambiente.

Etapa de Dosificación

La dosificación constituye una parte esencial dentro del proceso, ya que en esta se agrega al agua previamente calentada un volumen de reactivo en función del volumen de agua que se suministra al sistema. Esta mezcla junto con la correcta temperatura provoca una reacción química la cual actúa sobre las paredes de los conductos de transporte de alimentos, provocando la remoción de los sedimentos que quedan luego del transporte de los mismos.

Etapa de Descarga

En esta etapa se impulsa la mezcla mediante una bomba hacia los ductos o tuberías que se desea limpiar, de tal forma que dicha mezcla circule de manera turbulenta por cada una de los conductos deseados, logrando así una mejor remoción de las impurezas y una recirculación con menos pérdidas de presión y de temperatura.

Los sistemas CIP deben presentar facilidad de enjuague, lo que hace que no se mezclen los productos químicos utilizados para la limpieza con los componentes de la planta o del proceso, sin dejar olor ni sabor. Deben ser versátiles ya que deben ser capaces de reprogramar, ajustar y calibrar los ciclos de limpieza, con el objetivo de mejorar la desinfección y la esterilización de las plantas de producción. Se deben usar productos de fácil biodegradabilidad para así no afectar al ecosistema y al medioambiente, minimizando el consumo de recursos naturales.

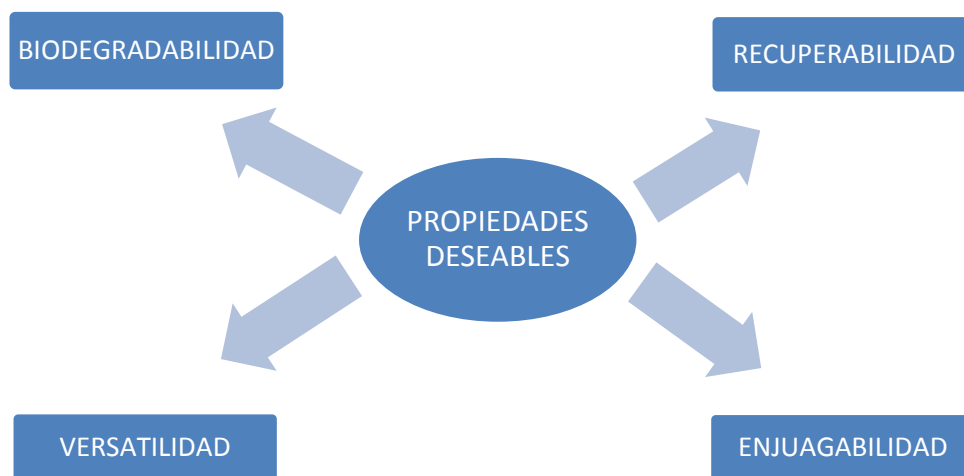


Figura 2.5 Características de un sistema Clean in Place.

Estos sistemas tienen una eficiencia máxima cuando el tiempo de limpieza y el caudal son adecuados, se recomienda prolongar el tiempo del ciclo de limpieza y aumentar la turbulencia dentro de la planta a limpiar.

2.5.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CIP.

Dependiendo del proceso a ser limpiado, los sistemas CIP se clasifican en:

- CIP Centralizado.
- CIP Descentralizado.

2.5.3.1. CIP CENTRALIZADO.

La estación de limpieza central, almacena, prepara, distribuye, controla y ajusta la concentración y temperatura de los diferentes compuestos utilizados para la limpieza.

Estos sistemas, se caracterizan por tener un grado de automatización elevado, donde variables como nivel, concentraciones de los detergentes, temperatura, presión y la secuencia de los ciclos debe ser exactamente medida y controlada.

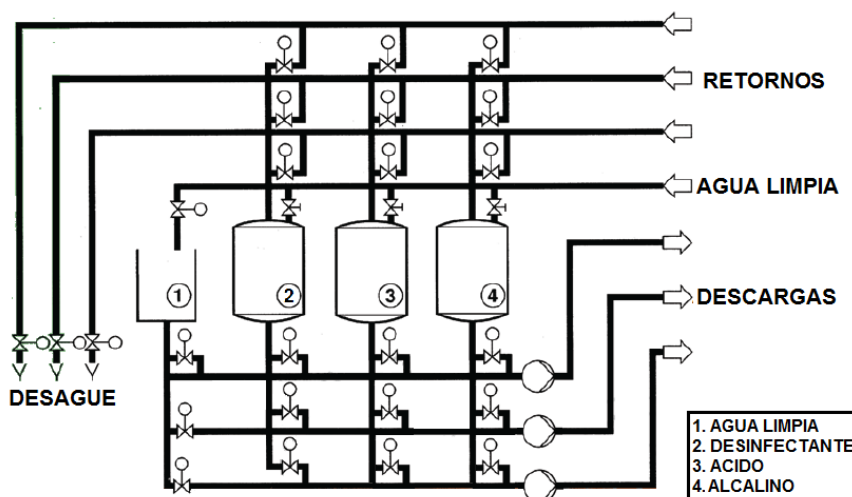


Figura 2.6 Diagrama de funcionamiento de un CIP Centralizado.

2.5.3.2. CIP DESCENTRALIZADO.

El CIP Descentralizado toma al CIP Centralizado y lo divide en pequeñas estaciones de baja capacidad exclusivas para lavar determinados equipos y líneas de proceso aledañas a estos.

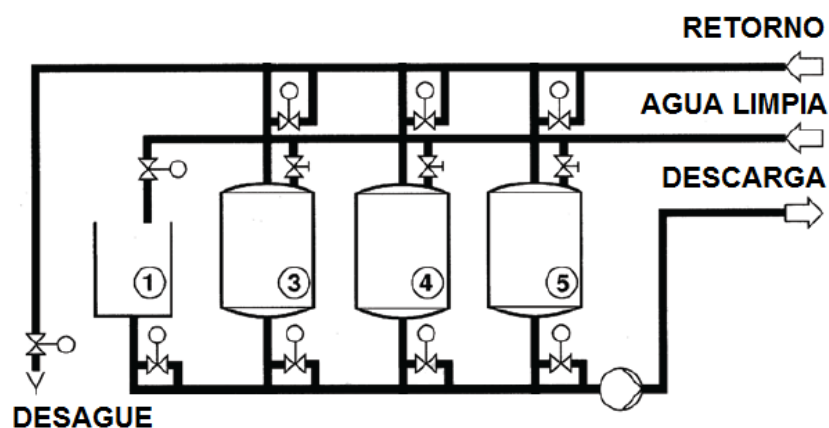


Figura 2.7 Diagrama de funcionamiento de un Sistema CIP Descentralizado.



Figura 2.8 Sistema CIP Descentralizado.

(Villalba, 2012)

2.5.4. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS CIP.

La industria láctea, es uno de los ejemplos más claros, donde los sistemas CIP son sumamente necesarios. Desde el momento del ordeño, el transporte y la recepción, la pasteurización, la ultra-pasteurización, y la elaboración de sus

derivados, requieren ser limpiados, desinfectados y esterilizados después de cada uno de sus procesos.

Se muestran las diferentes etapas en la industria láctea en las que se requiere el proceso de limpieza.

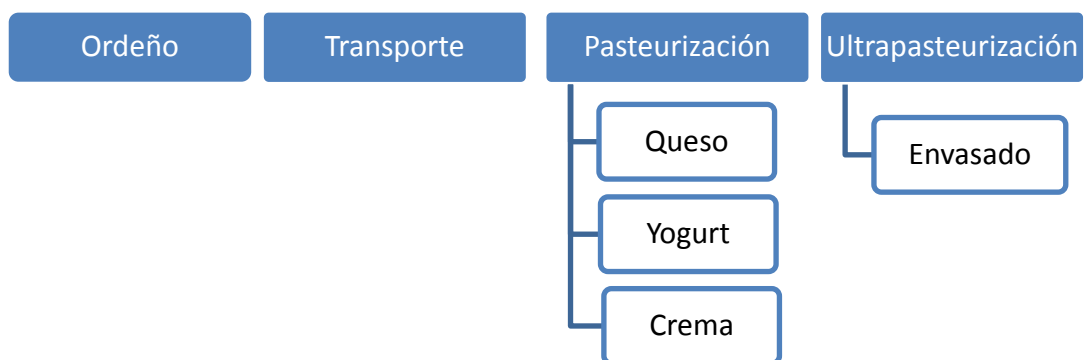


Figura 2.9 Principales aplicaciones de los Sistemas CIP.

CAPÍTULO III

3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE UN SISTEMA CIP.

3.1. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO.

En la búsqueda de dar solución a la problemática de la limpieza in situ, se analizarán todas las alternativas de diseño con el objetivo de enfocarnos en responder a los requerimientos del cliente para la construcción del equipo.

Se evaluará las prioridades de diseño y se enfocará en satisfacer dichas necesidades de una manera directa y sin desperdicio de recursos.

Requerimientos del cliente

En base a la visita técnica que se realizó a la hacienda para conocer el proceso de ordeño y limpieza, se rescataron algunas falencias y observaciones convertidas en requerimientos de parte del cliente, los cuales serán enunciados para el análisis de prioridad de diseño.

- Sistema fácil de usar.
- Emplear la menor cantidad de operadores.
- Cumplir un proceso de limpieza integral.
- Selección del tipo de limpieza a efectuar.
- Calentamiento del agua en el menor tiempo posible y con menor consumo.

- Calentamiento del agua usando otra fuente de calor distinta al GLP.
- Dosificación de reactivos sea exacta.
- Conocer en qué estado del proceso se encuentra.
- Ser eficiente y de bajo costo.

Propuestas de solución.

En base a las necesidades del cliente se proponen los siguientes requerimientos técnicos los cuales son capaces de dar solución a los diferentes problemas planteados por el cliente.

- Control en el calentamiento del agua mediante una fuente calorífica diferente a la combustión del GLP.
- Control de la dosificación de los reactivos de limpieza.
- Control seleccionable, automático y secuencial del proceso de limpieza que cumpla con la norma NTC 5245. “Prácticas de limpieza y desinfección para plantas y equipos utilizados en la industria láctea”.
- Visualización de la temperatura del agua y la activación de actuadores desde un tablero de control central.

A partir de esto se puede identificar como subprocesos a cada uno de los problemas a resolver, y mediante el diseño recurrente, la evaluación de los resultados y las mejoras continuas se obtendrá un diseño Mecatrónico integro, eficaz y eficiente.

3.2. POSIBLES SOLUCIONES.

Se describirán entonces las posibles soluciones a cada subproceso para alcanzar cada uno de los objetivos planteados seleccionando la mejor opción.

3.2.1. ETAPA DE CALENTAMIENTO.

Para la etapa de calentamiento de agua se tomarán en cuenta 4 tipos de fuentes de calor que proporcionen la energía suficiente para obtener agua a 80°C. En la tabla 3.1 se evalúan algunos parámetros determinantes para la selección del tipo de calentador.

Tabla 3.1 Posibles soluciones para la fuente de calentamiento.

Fuentes de Calor	Costo	Consumo Mensual	Restricción de Recurso	Nivel de Mantenimiento	Eficiencia
Quemador de GLP	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio
Quemador de Diesel	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio
Calentador Eléctrico	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto
Calentador Híbrido	Alto	Bajo	Medio	Alto	Alto

3.2.2. ETAPA DE DOSIFICACIÓN.

Dentro de las posibles soluciones para la dosificación de los reactivos de limpieza tienen relevancia los que garanticen la exactitud y la precisión del volumen que se necesita para la mezcla, además de la fácil manufactura y de la complejidad de adquisición de los elementos que conformen esta etapa.

Tabla 3.2 Posibles soluciones para la dosificación de reactivos.

Tipos de Dosificadores	Caudal de Dosificación.	Nivel de Manufactura	Costo	Nivel de Mantenimiento
Goteo Constante	Bajo	Alto	Medio	Alto
Venturi	Alto	Alto	Alto	Medio
Presión Negativa	Medio	Medio	Bajo	Bajo

3.2.3. INTERFÁZ HUMANO MÁQUINA (HMI).

Para la interfáz humano-máquina se presentan dos soluciones que le permitan al operador visualizar la temperatura del agua y el estado de las diferentes etapas de limpieza, “en que parte del proceso me encuentro”. Se muestra en la tabla 3.3 los parámetros de las 2 opciones a evaluar.

Tabla 3.3 Posibles soluciones para la HMI.

Tipos de HMI	Dificultad de Operación	Costo	Nivel
Panel de Funciones	Alta	Alto	Alto
Tablero con indicadores y pulsadores	Baja	Bajo	Medio

3.2.4. CONTROL AUTOMÁTICO SECUENCIAL.

La solución a este requerimiento técnico se puede dar por dos caminos, mediante la programación de un algoritmo de control secuencial en Microcontrolador o en un Controlador Lógico Programable.

Tabla 3.4 Posibles soluciones para el Controlador.

Controlador	Robustez	Costo	Dificultad de Instalación
Microcontrolador	Medio	Bajo	Alto
Controlador Lógico Programable (PLC)	Alto	Alto	Bajo

3.3. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN.

3.3.1. ETAPA DE CALENTAMIENTO.

Siendo el quemador de Gas Licuado de Petróleo el más apropiado como fuente de flujo de calor, debido a su bajo costo, su bajo consumo y su nivel de mantenimiento relativamente fácil, no es seleccionado ya que debido a la ubicación geográfica de la hacienda este recurso es controlado por el estado y es distribuido mensualmente en función de la cantidad de personas que habitan en las haciendas y casas de la región, tratando así de eliminar el contrabando por la frontera hacia Colombia.

De esta manera el uso de GLP en la elaboración del sistema CIP constituye un serio problema logístico para la hacienda, por tal motivo se escogerá el quemador a diesel que presenta características similares al de GLP.

En el capítulo 4 se muestra la selección de la fuente de energía, así como el diseño del intercambiador de calor mediante un análisis térmico completo.



Figura 3.1 Quemador de diesel.

(Vidri, 2014)

3.3.2. ETAPA DE DOSIFICACIÓN.

Todos los sistemas de dosificación tienen un rango de aplicación apropiado para agregar los agentes desinfectantes pero el más fácil de manufacturar es el dosificador de presión negativa que gracias a su estructura no requiere un mantenimiento continuo.

El diseño del dosificador de presión negativa para que suministre la cantidad necesaria de reactivos se lo verá en el siguiente capítulo.

3.3.3. HMI.

Debido al bajo costo y a que el operador no necesita de mayor capacitación, se ha decidido realizar un tablero de control, en el cual se podrá observar en qué momento del proceso se encuentra el sistema, la temperatura actual del sistema, el estado actual de cada bomba, y el estado del quemador de diesel.



Figura 3.2 Tablero de Control.

(Corporación Eléctrica Lima, 2014)

3.3.4. CONTROL AUTOMÁTICO SECUENCIAL.

Debido a su robustez y a su gran utilidad en el área industrial se ha decidido utilizar un Controlador Lógico Programable “PLC” que ayudará a ejecutar las secuencias de acuerdo a cada sección del proceso.



Figura 3.3 Controlador lógico programable (PLC).

(Siemens, 2014)

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA CIP.

Se describe en este capítulo todos los fundamentos teóricos-técnicos para el diseño, la construcción y la implementación del sistema CIP en cada una de sus etapas o subprocesos. Para esto se dividirá todo el diseño en sistema mecánico, sistema eléctrico, HMI, sistema de control y la implementación de todos los anteriores en un solo sistema Mecatrónico eficiente.

4.1. SISTEMA MECÁNICO.

El sistema mecánico contiene todos los aspectos relacionados con el calentamiento del agua, la dosificación de los reactivos, el diseño del depósito de recirculación, la selección de los actuadores, así como también el diseño estructural e ingenieril desde un punto de vista detallado.

4.1.1. DISEÑO DEL CALENTADOR DE AGUA.

4.1.1.1. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA.

La carga térmica guarda una relación directa con las propiedades del fluido y la variación de temperatura que se desea conseguir.

$$q = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad [W] \quad [4.1]$$

Donde:

- q: Carga térmica.
- \dot{m} : Flujo másico.
- C_p : Capacidad Calorífica.
- ΔT : Variación de Temperatura.

Datos del agua:

- Temperatura de entrada del agua: $t_{i_{agua}} = 10^\circ C$
- Temperatura de salida del agua: $t_{o_{agua}} = 80^\circ C$

Se obtiene la temperatura media de trabajo $t_{m_{agua}}$.

$$t_{m_{agua}} = \frac{t_{o_{agua}} + t_{i_{agua}}}{2} = 45^\circ C$$

Para encontrar las propiedades del agua se utiliza la temperatura media de trabajo.

Tabla 4.1 Propiedades del agua Saturada.

Temp.	P. de Saturación	Densidad	Calor Específico	Conducción Térmica	Viscosidad Dinámica
(T) [°C]	(P_sat) [kPa]	(ρ) [$\frac{kg}{m^3}$]	(Cp) [$\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$]	(K) [$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$]	(μ) [$\frac{kg}{m \cdot s}$]
45	9,593	990,1	4180	0,637	0,596*10 ⁻³

Fuente: (Cengel, 2004, pág. 730)

El flujo másico del agua está dado por la bomba general del sistema de ordeño.

$$Q_{agua} = \dot{m} = 20 \frac{L}{min}$$

$$\dot{m} = 0,020 * \frac{m^3}{min}$$

$$\Delta T = t_{o_{agua}} - t_{i_{agua}}$$

$$\Delta T = 70^\circ C$$

A partir del balance global de energía resolviendo la ecuación [4.1] se obtiene:

$$q = 0,020 \frac{m^3}{min} * 4180 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} * 70^\circ C$$

$$q = 9,657 * 10^4 W$$

Se estima un factor de seguridad de 1.3 debido a las pérdidas de calor que puedan existir de manera general en el sistema como se muestra en la tabla 4.2 y a la eficiencia práctica que presentan las calderas y calentadores de agua.

Esta eficiencia suele ser en la práctica de un 70%, por lo que el diseño estará dado con un 30% de exceso.

Tabla 4.2 Pérdidas en calderas.

Origen de las perdidas	Valor de las de las pérdidas. [%]
Por combustión incompleta.	9,80
Por gases calientes de chimenea.	14,00
Por cenizas o escorias.	2,85
Por radiación y otras causas.	3,35
Total Pérdidas	30,00

Fuente: (Bahamondes & Dümmer, pág. 4)

Teniendo así una carga térmica final de:

$$qf = 1,3 * q$$

$$qf = 1,3 * 9,657 * 10^4$$

$$qf = 12,55 * 10^4 [W]$$

4.1.1.2. SELECCIÓN DE LA FUENTE ENERGÉTICA.

Debido a las restricciones que posee la hacienda por su ubicación geográfica, las mismas que se han descrito en el Capítulo 3 se decidió usar un quemador de combustible diesel.

La hacienda La Alborada cuenta con un quemador de la serie RIELLO 40, modelo F10 de 300000 BTU, que nos aporta una potencia media en la flama de 80000 Watts.



Figura 4.1 Quemador a gasóleo RIELLO 40 F10.

(BURNERS, 2014)

Model		▼ F5	▼ F10	▼ F20
Setting		One stage		
Servo-motor	type	..		
	run time	s		
Heat output	kW	30 - 60	54 - 107	95 - 202
	Mcal/h	25,8 - 51,6	46,4 - 92	81,7 - 173,7
	kg/h	2,5 - 5	4,5 - 9	8 - 17
Working temperature		°C min./max.		
Net calorific value	kWh/kg	11,8		
	kcal/kg	10.200		
Viscosity at 20°C		mm ² /s (cSt)		
Pump	type	R.B.L.		
	output	kg/h at 12 bar		
Atomised pressure		bar		
Fuel temperature		max. °C		
Fuel pre-heater		NO	NO	NO
Fan		type		
Air temperature		max. °C		
Electrical supply		Ph/Hz/V		
Aux. electrical supply		Ph/Hz/V		
Control box		type		
Total electrical power		kW	0,13	0,17
Total rated current		A	0,75	0,85
Protection level		IP		
Motor electrical power		kW	0,1	0,14
Rated motor current		A	0,75	0,85
Motor start current		A	3	3,5
Motor protection level		IP		
Ignition transformer		incorporated in the control box		
Operation		intermittent (at least one halt every 24 h)		
Sound pressure		dB(A)	60	66
CO Emissions		mg/kWh	<60	
Grade of smoke indicator		N° Bach.	<1	
C ₂ H ₄ Emissions		mg/kWh	<10 AFTER THE FIRST 20s	
NOx Emissions		mg/kWh	<250	
Directives		89/336/EEC, 73/23/EEC, 98/37/EEC, 92/42/EEC		
Conforming to		EN 267		
Certifications	

Figura 4.2 Hoja técnica quemadores RIELLO.

(BURNERS, 2014, pág. 2)

Se obtuvo experimentalmente las temperaturas correspondientes a la llama y la temperatura de los gases de combustión con ayuda de un pirómetro digital debidamente calibrado, los resultados se pueden observar en la tabla 4.3.



Figura 4.3 Pirómetro digital con el que se realizó las pruebas.

(Fluke, 2014)

Con estos datos se procede a diseñar el sistema de calentamiento que proporcione la carga térmica necesaria para conseguir la temperatura deseada, optimizando recursos y reduciendo al mínimo posible las pérdidas de calor en la sección del calentamiento.

Tabla 4.3 Datos experimentales de temperatura tomados en ambiente cerrado.

Número de Toma	Temperatura (°C)	
	Llama	Gases
1	395	499
2	395	497
3	396	502
4	395	499
5	398	496
6	401	502
7	404	504
8	404	503
9	405	501
10	404	500
Temperatura Promedio	399,7	500,3

De esta manera se obtiene las temperaturas para la llama y los gases:

$$t_{llama} = 400^{\circ}\text{C}$$

$$t_{gases} = 500^{\circ}\text{C}$$

4.1.1.3. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL SERPENTÍN.

Se debe tomar en cuenta que la llama del quemador solo incidirá en una determinada longitud de serpentín, por lo que se debe potencializar el uso de los gases de combustión mediante la geometría del calentador de agua, para lograr obtener el resultado final, de esta manera se calculará una longitud para el golpe de la llama y otra para el golpe de los gases, con lo cual se asegura conseguir la temperatura deseada.

Dado esto se tiene que:

$$q_f = q_{llama} + q_{gases} \quad [W] \quad [4.2.]$$

De donde:

$$q_{gases} = 12,55 * 10^4 W - 8 * 10^4 W$$

$$q_{gases} = 4,55 * 10^4 \quad [W]$$

Se conoce que la convección forzada está dada por un agente externo que pone al fluido en movimiento constante, en el caso del sistema CIP ese agente externo es la bomba, es por esto que se analizará este caso como convección forzada, donde se determina la longitud de serpentín que se debe utilizar para cumplir con las cargas térmicas de los gases y de la llama.

Se conoce que la convección forzada está dada por:

$$q_{conv} = h * A_c * \Delta t_{conv} \quad [W] \quad [4.3.]$$

Dónde:

- q_{conv} : Potencia térmica por convección.
- h : Coeficiente de transferencia de calor por convección.
- A_c : Área de contacto entre el fluido y la pared del tubo.

- Δt_{conv} : Variación de temperatura de convección.

$$Ac = \pi * D * L_{serpentin}$$

$$\Delta t_{conv} = t_{cobre} - t_{i_{agua}}$$

De la ecuación [4.3.] se obtiene:

$$L_{serpentin} = \frac{q_{conv}}{h * (t_{cobre} - t_{i_{agua}}) * \pi * Di_{tubo}} \quad [m] \quad [4.4.]$$

Datos Generales:

- $Di_{tubo} = 19mm$ Diámetro interno de la tubería.
- $Do_{tubo} = 20mm$ Diámetro externo de la tubería.
- $E_{tubo} = 1mm$ Espesor de la tubería.
- $t1_{cobre} = t_{llama} = 400^{\circ}C$ Temperatura de la pared interna de la tubería por llama.
- $t2_{cobre} = t_{gases} = 500^{\circ}C$ Temperatura de la pared interna de la tubería por gases.
- $q_{llama} = 8 * 10^4W$ Potencia del quemador a diesel.
- $q_{gases} = 4,55 * 10^4W$ Potencia a conseguir con los gases de combustión.

La convección se realiza entre las paredes de la tubería de cobre y el fluido que circula dentro de este, y ya que el espesor de la tubería de cobre es muy pequeño se despreciarán pérdidas por conducción en las paredes tomando como temperatura interna la temperatura que incide en la cara externa.

El coeficiente de transferencia de calor h lo se tomará de la tabla 4.4, donde se indican los valores nominales para convección forzada con agua.

Tabla 4.4 Valores típicos del coeficiente de calor por convección.

Proceso	$\frac{h}{\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right]}$
Convección Libre	
Gases	2 - 25
Líquidos	50 - 1000
Convección Forzada	
Gases	25 - 250
Líquidos	50 - 20000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500 - 100000

Fuente: (Incropera & De Witt, 1999, pág. 8)

De donde se toma:

$$h = 200 * \frac{W}{m^2 * C}$$

Reemplazando en la ecuación [4.4.] se obtiene la longitud en función de la potencia de la llama.

$$L_{serpentin\llama} = \frac{q_{\llama}}{h * (t_{2cobre} - t_{i\llama}) * \pi * D_{i\llama}}$$

$$L_{serpentin_{llama}} = \frac{8 * 10^4 W}{200 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * (400^\circ C - 10^\circ C) * \pi * 0,019 m}$$

$$L_{serpentin_{llama}} = 17,18 m$$

Dado que la llama solo incide en una longitud determinada de serpentín, se debe calcular la longitud faltante de serpentín con la que se podrá obtener la carga térmica final para elevar la temperatura del agua a 80°C, mediante la convección ocasionada por los gases de combustión. Para lo cual se calculará la nueva temperatura luego del paso por el serpentín en el que incide la llama despejando la ecuación [4.1.].

$$t_{agua-serpentin} = \frac{q_{llama}}{\dot{m} * Cp} + t_{i_{agua}}$$

$$t_{agua-serpentin} = \frac{8 * 10^4 W}{0,020 * \frac{m^3}{min} * 4180 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C}} + 10^\circ C$$

$$t_{agua-serpentin} = 67,99^\circ C$$

De la ecuación [4.4.] se tiene:

$$L_{serpentin_{gases}} = \frac{q_{gases}}{h * (t_{2_{cobre}} - t_{agua-serpentin}) * \pi * Di_{tubo}}$$

$$L_{serpentin_{gases}} = \frac{4,55 * 10^4 W}{200 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * (500^\circ C - 67,99^\circ C) * \pi * 0,019 m}$$

$$L_{serpentin_{gases}} = 8,83 [m]$$

De aquí se tiene:

$$L_{total_{serpentin}} = L_{serpentin_{llama}} + L_{serpentin_{gases}}$$

$$L_{total_{serpentin}} = 26,01 [m]$$

4.1.1.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.

El diseño estructural partirá del posicionamiento del serpentín, tomando en cuenta las recomendaciones principales para tratar de disminuir las pérdidas de calor a lo largo del proceso, como la distancia entre tubos y la ubicación geométrica de los mismos.

Para este tipo de procesos se puede usar 3 tipos de ubicaciones, cuadrado recto a 90°, cuadrado rotado a 45° o triangular a 30°, con un rango de separaciones entre tubos de 1.25 a 1.45 veces el diámetro externo de la tubería, como se muestra en la figura 4.4. (Serth & Lestina)

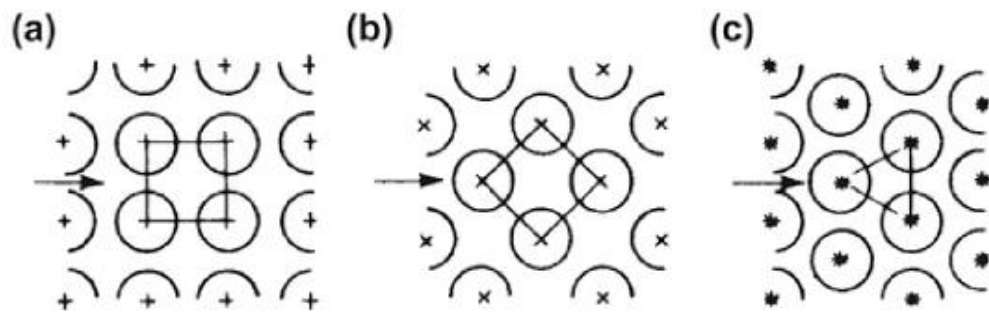


Figura 4.4 Posicionamiento recomendado para los tubos de un serpentín.

a) Cuadrado recto a 90°; b) cuadrado rotado a 45°; triángulo a 30°.

(Serth & Lestina)

El arreglo de tubos cuadrado a 90°, presenta una menor área de transferencia de calor, debido a la separación que debe existir entre tubos, provocando así que aumente el tamaño del calentador de agua para lograr una mayor eficiencia, este es más utilizado en flujos químicos o sucios. (Serth & Lestina)

El posicionamiento de tubos en cuadrado rotado a 45°, permite una mayor transferencia de calor que el cuadrado a 90°, aun así el espaciamiento entre tubos obliga a que no se pueda disminuir el tamaño del calentador, ya que para ambos se recomienda una distancia mayor a 1.25 veces el diámetro externo de los tubos.

En un arreglo de tubos triangular de 30° se disminuye el tamaño del calentador ya que su espaciamiento es menor, permitiendo el posicionamiento de un mayor número de tubos que los arreglos anteriores en una misma área, debido a que aumenta el área de contacto y por ende mejora la transferencia de calor. Este arreglo produce una mayor turbulencia en los gases que circulan a través del arreglo los

cuales transfieren la energía que llevan. Este tipo de arreglo no es recomendado para su uso con fluidos químicos o sucios.

De esto se puede concluir que el arreglo más adecuado para esta aplicación es el triangular de 30°, ya que permite posicionar una mayor cantidad de tubos aumentando así la transferencia de calor sin que las dimensiones de nuestro calentador aumente de manera abrupta, además tomando en cuenta que en este proceso se va a calentar agua limpia y que no contiene químicos.

Otro aspecto importante para realizar el diseño de la estructura será la cámara de combustión, la longitud y el diámetro que alcance la llama dentro de la cámara serán primordiales para optimizar el diseño.

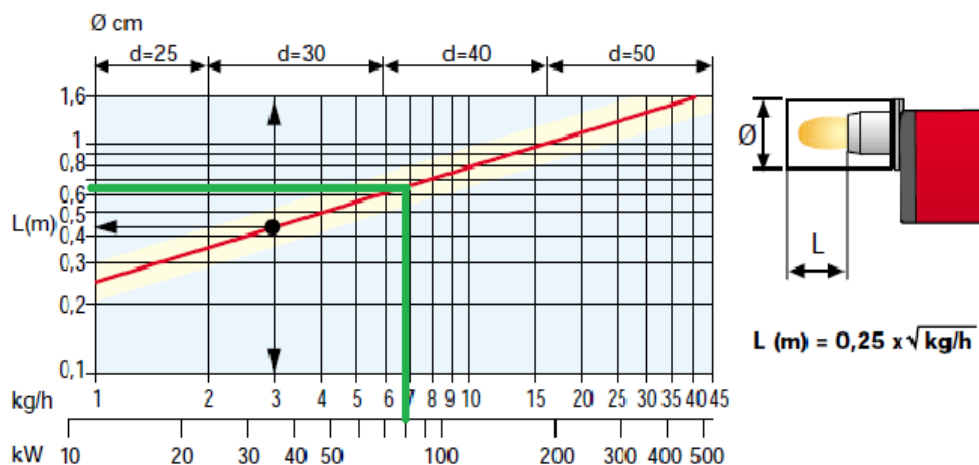


Figura 4.5 Dimensiones recomendadas para la cámara de combustión.

(BURNERS, 2014, pág. 6)

Si se toma en cuenta la potencia media de trabajo se obtiene de la figura 4.5 los siguientes datos:

$$\text{Consumo} \cong 7 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$D_{CC} = 0,4 \text{ m}$$

$$L_{CC} = 0,25 * \sqrt{\text{Consumo}} \text{ [m]}$$

$$L_{CC} = 0,25 * \sqrt{7} \text{ [m]}$$

$$L_{CC} = 0,66 \text{ m}$$

Donde D_{CC} y L_{CC} son el diámetro y la longitud de la cámara de combustión respectivamente.

Una vez seleccionado el tipo de arreglo de tubos para el serpentín y las dimensiones de la cámara de combustión se empezará a diseñar la estructura del calentador, comenzando por el serpentín, conociendo que el diámetro debe ser de 0,4 [m] se ubicarán los tubos de cobre entre dos planchas de acero de 3 [mm] de espesor ubicadas a una distancia igual a la del diámetro de la cámara de combustión.

Cada tubo tendrá una longitud total igual a:

$$L_{tubo} = D_{CC} + 0,02 \text{ [m]} \quad [4.5.]$$

$$L_{tubo} = 0,42 \quad [m]$$

Se dejará 1cm por encima de las placas de soporte de los tubos como se indica en la ecuación [4.5.] para facilitar la manufactura ya que se deben soldar los accesorios en “u” que unirán cada tubo de manera en que se forme un circuito cerrado por el cual circulará el agua a calentar.

Al usar un arreglo de tubos triangular a 30° se recomienda una separación entre tubos igual a 1.25 veces el diámetro externo de la tubería del serpentín.

$$Separación_{tubos} = 1,25 * Do_{tubo} \quad [m] \quad [4.6.]$$

$$Separación_{tubos} = 1,25 * 0,02 = 0,025 \quad [m]$$

La separación entre centros estará dada por la ecuación [4.7.]:

$$Separación_{entre\ centros} = Separación_{tubos} + Do_{tubo} \quad [m] \quad [4.7.]$$

$$Separación_{entre\ centros} = 0,025 + 0,02 = 0,045 \quad [m]$$

En la figura 4.6 se puede apreciar las distancias entre tubos.

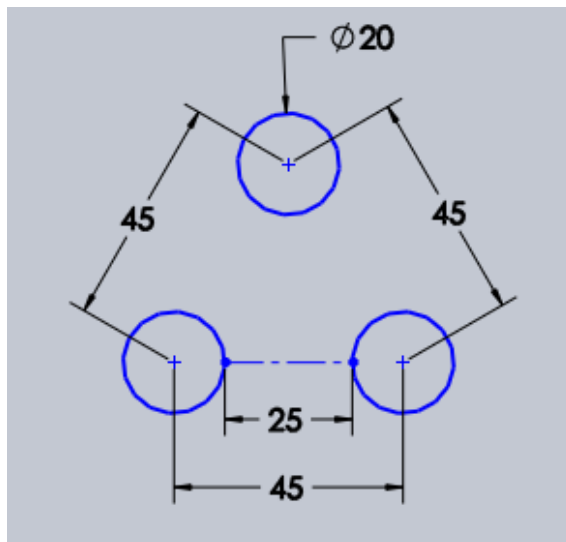


Figura 4.6 Distancias en [mm] para separación entre tubos del serpentín.

Para unir cada tubo se usarán accesorios en “U” como se muestra en la figura 4.7, los cuales serán fabricados desde un tubo de cobre flexible para que puedan cumplir con las distancias que se requiere.

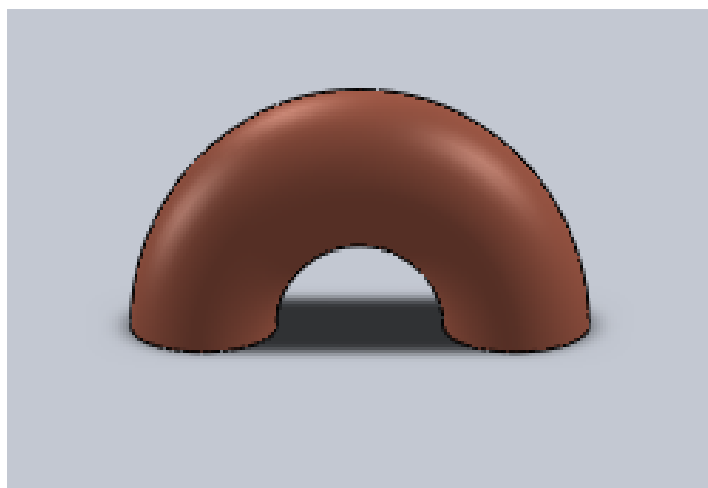


Figura 4.7 Accesorio U para la unión del serpentín.

El accesorio debe tener una distancia entre centros igual a la distancia entre centros de los tubos, para calcular la longitud real del accesorio se usará la ecuación [4.8.] que representa el perímetro de una media circunferencia.

$$L_U = \frac{\pi * Separación_{entre\ centros}}{2} [m] \quad [4.8.]$$

$$L_U = \frac{\pi * 0,045}{2} = 0,071 [m]$$

Para fabricar los accesorios en “U” se cortarán tramos de tubería de cobre, igual al perímetro L_U , los cuales luego serán doblados usando un dado de un diámetro de 45 [mm].

Se obtiene el número de tubos a colocar de la ecuación [4.9.]:

$$\#tubos = \frac{L_{total\ serpentin}}{(L_{tubo} + L_U)} \quad [4.9.]$$

$$\#tubos = \frac{26,01}{(0,42 + 0,071)} = 52,97$$

De donde:

$$\#tubos = 53$$

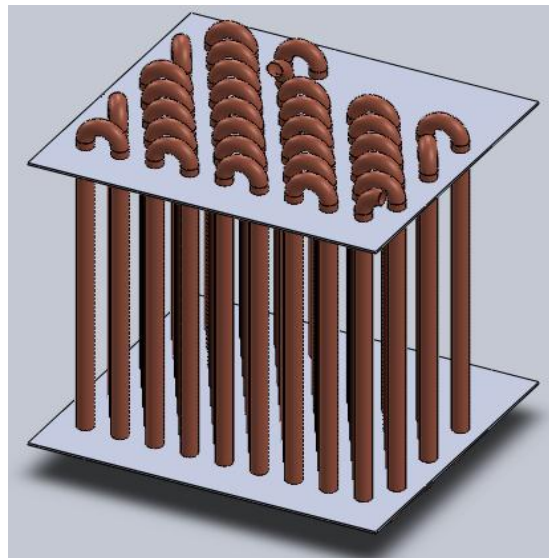


Figura 4.8 Arreglo de los tubos del serpentín.

Para la elaboración de toda la parte estructural se toma en cuenta que el tanque donde se ubicará la etapa de calentamiento no será un tanque a presión, ya que tendrá una chimenea a la atmósfera, que soportará una presión máxima en su pared igual a la presión de atomización del combustible del quemador, por lo que se usará acero ASTM A-1011 TB que no es más que el símil comercial del acero estructural A-36 debido a su bajo costo, y su alta resistencia estructural.

Se obtuvo el espesor para la plancha que formara el cilindro del tanque por medio de la ecuación [4.10.].

$$\sigma = \frac{r * P}{t} \quad [MPa] \quad [4.10.]$$

Donde:

- σ : Límite mínimo de fluencia del material.
- r : Radio del tanque.
- P : Presión de trabajo en el tanque.
- t : Espesor de la pared del tanque.

Se conoce que para el acero A-36 (Aceros Arequipa, pág. 8):

$$\sigma_{acero} = 2110 \frac{Kgf}{cm^2} = 206,92 \text{ [MPa]}$$

Se toma como presión de trabajo la máxima presión de aspersion que brinda el quemador, como se muestra en la figura 4.2, dando una presión máxima de trabajo igual a 15 bar equivalente a 1.5 MPa.

Para determinar el espesor del tanque se impondrá un radio, tomando en cuenta el diámetro necesario que se calculó para la cámara de combustión, por lo que se tiene un radio igual a:

$$r = 0.325 \text{ [m]}$$

Se despeja el espesor de la ecuación [4.10.].

$$t = \frac{r * P}{\sigma} \text{ [m]}$$

Se encuentra el esfuerzo admisible tomando un factor de seguridad de 1,25, dado que el espesor de la pared de un recipiente deberá ser tal que las tensiones generadas por la presión no deben exceder el valor de la tensión admisible del material. (INGE-CAP LTDA, pág. 4)

$$\sigma_{adm} = \frac{206,92}{1,25} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{adm} = 165,54 \text{ [MPa]}$$

De donde:

$$t = \frac{r * P}{\sigma_{adm}} \text{ [m]}$$

$$t = \frac{0,325 * 1,5}{165,54}$$

$$t = 2,94 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

Se redondea al alza, al espesor comercial más próximo.

$$t = 3,00 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

La longitud del material necesario para la elaboración del tanque, se determinó mediante la ecuación [4.11.].

$$Perimetro = 2 * \pi * r [m] \quad [4.11.]$$

$$Perimetro = 2 * \pi * 0,325$$

$$Perimetro = 2,04 [m]$$

Para determinar las dimensiones finales que deberá tener la chapa de acero, se impondrá un ancho, tomando en cuenta el requerimiento mínimo de la cámara de combustión, de esta manera se tiene:

$$L= 2,04 [m]$$

$$A= 0,90 [m]$$

$$t= 3 [mm]$$

Debido a que dentro del tanque de calentamiento se posicionará el serpentín, se procedió a colocar 4 vigas de soporte, las cuales serán soldadas en el perímetro del tanque de tal manera que se guarden las distancias entre las placas bases del serpentín, las mismas que serán empernadas a las vigas de soporte.

La elaboración de los soportes del serpentín, deberá ser en un espesor no menor al del tanque, ya que soportará las mismas presiones, además se determinará la fuerza que se ejercerá en esas vigas, debido al peso de cada componente del serpentín y se sumará al peso que agregará el agua una vez que haya ocupado todo el volumen del

serpentín de esta manera se encuentra la fuerza ejercida sobre cada soporte y la presión por unidad de área a la que se le sumará la presión por atomización para de esta manera determinar el espesor real de los soportes.

Para determinar la fuerza ejercida por el peso de la tubería de cobre, se partirá de la obtención de su volumen, tratando a todo el serpentín en forma de un rectángulo de cobre, como se indica en la figura 4.9, donde su ancho será el perímetro y su largo será la longitud total de serpentín.

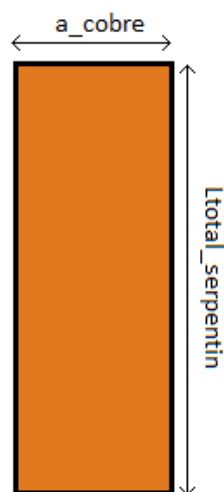


Figura 4.9 Dimensiones para la obtención del volumen de cobre.

$$a_{cobre} = \pi * D_{otubo} \quad [mm] \quad [4.12.]$$

$$a_{cobre} = \pi * 20$$

$$a_{cobre} = 62,83 [mm]$$

$$V = a * l * t \quad [m^3] \quad [4.13.]$$

Donde:

- V : Volumen del elemento.
- a : Ancho del elemento.
- l : Longitud del elemento.
- t : Espesor del elemento.

$$V = a_{cobre} * L_{total_{serpentin}} * E_{tubo} \quad [m^3]$$

$$V = \frac{62,83}{1000} * 26,01 * \frac{1}{1000}$$

$$V = 1,63 * 10^{-3} \quad [m^3]$$

$$\delta = \frac{m}{V} \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \quad [4.14.]$$

Donde:

- δ : Densidad del elemento.
- m : Masa del elemento.
- V : Volumen del elemento.

En la tabla 4.5 se muestran las densidades de los materiales utilizados.

Tabla 4.5 Densidades de los materiales utilizados.

Material	Densidad $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
Cobre	8933
Acero A-36	7854

Fuente: (Cengel, 2004, pág. 720)

Se conoce que la densidad del cobre es:

$$\delta_{cobre} = 8933 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$$

De la ecuación [4.14.] se obtiene la masa:

$$m_{cobre} = \delta_{cobre} * V_{cobre} \quad [Kg]$$

$$m_{cobre} = 8933 * 1,63 * 10^{-3}$$

$$m_{cobre} = 14,56 \quad [kg]$$

Se conoce las placas base del serpentín de acero A-36:

$$l_{base\ serpentin} = 0,65 \quad [m]$$

$$a_{base\ serpentin} = 0,40 \quad [m]$$

$$t_{base\ serpentin} = 0,003 \text{ [m]}$$

Tomando la ecuación [4.13.] se obtiene el volumen de acero de cada base.

$$V_{base\ serpentin} = a_{base\ serpentin} * l_{base\ serpentin} * t_{base\ serpentin}$$

$$V = 0,40 * 0,65 * 0,003$$

$$V = 7,8 * 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

Se conoce la densidad del acero A-36:

$$\delta_{A-36} = 7854 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Usando la ecuación [4.14.], se obtiene:

$$m_{base\ serpentin} = \delta_{a-36} * V_{base\ serpentin} \text{ [Kg]}$$

$$m_{base\ serpentin} = 7854 * 7,8 * 10^{-4}$$

$$m_{base\ serpentin} = 6,13 \text{ [Kg]}$$

Debido a que se usan dos bases para el ensamble del serpentín, se tiene que:

$$m_{base\ serpentin} = 12,26 \text{ [kg]}$$

Para tener un peso real de todo el serpentín, se deberá sumar también el peso que aporta el agua una vez que ha ocupado todo el volumen de los tubos que conforman el mismo.

$$V_{agua} = \pi * \left(\frac{Di_{tubo}}{2}\right)^2 * L_{total_{serpentin}} \quad [m^3]$$

$$V_{agua} = \pi * \left(\frac{19}{\frac{1000}{2}}\right)^2 * 26,01$$

$$V_{agua} = 7,37 * 10^{-3} \quad [m^3]$$

Se conoce que la densidad del agua a 10°C es: (Cengel, 2004, pág. 730)

$$\delta_{agua} = 999,77 \quad \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$$

De donde, si se aplica la ecuación [4.14.] se tiene:

$$m_{agua} = \delta_{agua} * V_{agua}$$

$$m_{agua} = 999,77 * 7,37 * 10^{-3}$$

$$m_{agua} = 7,37 \quad [Kg]$$

Se obtiene la masa total de todo el serpentín sumando cada una de las masas calculadas anteriormente.

$$m_{total\ serpentin} = m_{cobre} + m_{base\ serpentin} + m_{agua} \quad [Kg]$$

$$m_{total\ serpentin} = 14,56 + 12,26 + 7,37$$

$$m_{total\ serpentin} = 34,19 \quad [Kg]$$

Se determina la fuerza mediante la ecuación [4.15.].

$$F = m * g \quad [N] \quad [4.15.]$$

Donde:

- F : Fuerza ejercida.
- m : Masa del elemento.
- g : Gravedad.

$$F_{T\ serpentin} = m_{total\ serpentin} * g$$

$$F_{T\ serpentin} = 34,19 * 9,81$$

$$F_{T\ serpentin} = 335,4 \quad [N]$$

Dado que se usarán 4 apoyos para colocar el serpentín, la fuerza total se dividirá entre cuatro para así tener la fuerza a la que estará sometido cada apoyo.

$$F_{soporte} = \frac{F_{T\ serpenti}}{4} \quad [N] \quad [4.16.]$$

$$F_{soporte} = \frac{335,4}{4}$$

$$F_{soporte} = 83,9 \quad [N]$$

Tomando en cuenta el área en la que someterá esta fuerza, se obtiene la presión por apoyo.

$$A_{soporte} = l_{base\ serpentin} * a_{soporte} \quad [m^2] \quad [4.17.]$$

$$A_{soporte} = 0,65 * 0,05$$

$$A_{soporte} = 0,0325 \quad [m^2]$$

$$P_{soporte} = \frac{F_{soporte}}{A_{soporte}} \quad [Pa] \quad [4.18.]$$

$$P_{soporte} = \frac{83,90}{0,0325}$$

$$P_{soporte} = 2581,54 \quad [Pa]$$

Cada soporte estará sometido no solo a la presión del serpentín, sino también a la presión nominal de trabajo, por lo que se añadirá ambas presiones para tener el valor real al que estarán expuestos los soportes.

$$P_{real\ soporte} = P_{soporte} + P \quad [MPa] \quad [4.19.]$$

$$P_{real\ soporte} = 0,002582 + 1,5$$

$$P_{real\ soporte} = 1,502582 \quad [Mpa]$$

Para obtener el espesor de las placas de soportes, se relacionará sus dimensiones, con la carga máxima que soportaran por medio de la ecuación 4.20.

$$\sigma = \frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{w * b^2}{t^2} \quad [4.20.]$$

Dónde:

- σ : Límite mínimo a la fluencia del acero A-36.
- a : Lado mayor de la placa del soporte.
- b : Lado menor de la placa de soporte.
- w : Carga por unidad de área a la que estará sometida la placa.
- t : Espesor de la placa.

Se despeja el espesor de la ecuación [4.20.].

$$t = \sqrt{\frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{w * b^2}{\sigma}} \quad [m]$$

Se mantiene el mismo criterio que se tuvo para el diseño del tanque, por lo que se usará el esfuerzo admisible.

$$t = \sqrt{\frac{1}{2} * \frac{(0,65)^2}{(0,65)^2 + (0,05)^2} * \frac{1,5026 * (0,05)^2}{165,54}}$$

$$t = 3,36 * 10^{-3} \quad [m]$$

Considerando la disponibilidad en el mercado se trabaja con:

$$t_{real \text{ soportes}} = 4,00 * 10^{-3} \quad [m]$$

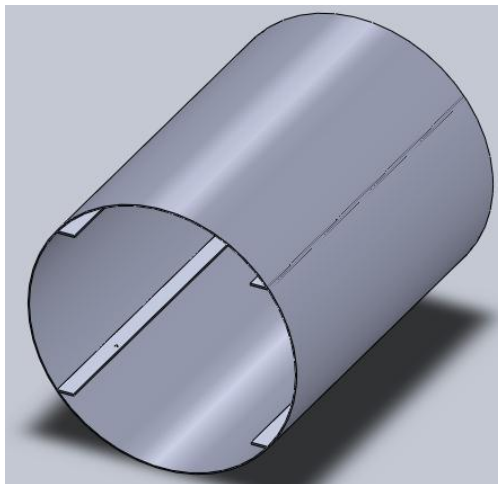


Figura 4.10 Tanque de calentamiento con soporte para el serpentín.

4.1.1.5. SELECCIÓN DE LA TOBERA DE ATOMIZACIÓN.



Figura 4.11 Toberas o boquillas de atomización.

(DANFOSS, 2014, pág. 1)

La correcta selección de la boquilla o tobera de atomización permitirá optimizar el proceso de combustión, ya que esta tiene un orificio calibrado de acuerdo al consumo de combustible y al ángulo de aspersión que se desea conseguir, como se muestra en la figura 4.12.

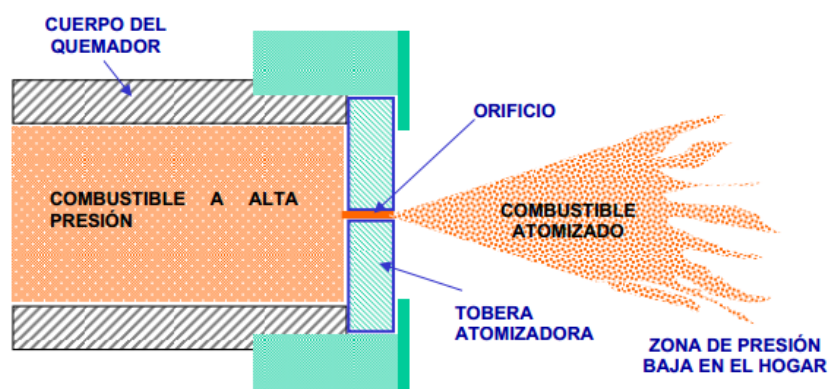


Figura 4.12 Detalle de los componentes del quemador a diesel.

(Secretaría de Energía, 2007, pág. 12)

Mientras mayor sea el ángulo de la boquilla de atomización, la llama que presentará el quemador será más corta y más ancha que si se usará una boquilla con un ángulo menor, en donde la llama sería más larga y más delgada, como se puede apreciar en la figura 4.13. (Carmona, Acosta, & Tibaquirá, 2003, pág. 71)

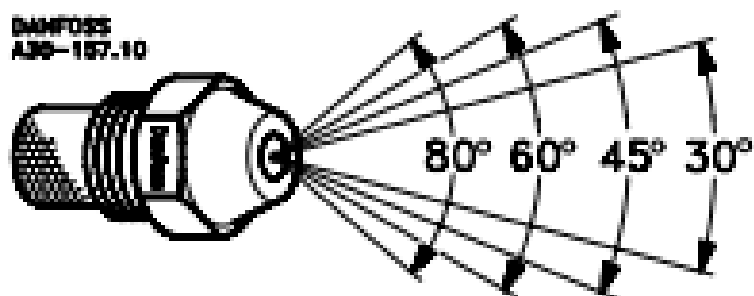


Figura 4.13 Ángulos de la boquilla del quemador.

(DANFOSS, 2014, pág. 9)

Se determina el consumo de combustible en galones por hora para ingresar en el catálogo de selección de boquillas.

$$\text{Consumo} \cong 7 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Se conoce la densidad del Diesel. (REPSOL Refinería La Pampilla, 2014, pág. 4)

$$\delta_{\text{Diesel}} = 0,87 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

$$\delta_{Diesel} = 0,87 \left[\frac{kg}{Lt} \right]$$

Se obtiene el consumo en Galones por hora al dividirlo para la densidad y aplicar los factores de conversión correspondientes para cada unidad, teniendo así:

$$Consumo = \frac{7}{0,87}$$

$$Consumo = 8,05 \left[\frac{Lt}{h} \right]$$

$$Consumo = \frac{8,05}{3,785}$$

$$Consumo = 2,13 \left[\frac{Gal}{h} \right]$$

Tomando en cuenta las dimensiones del tanque de calentamiento se ha decidido usar una boquilla de 60°, que nos brindará un valor medio tanto en el ancho como en el largo de la llama.

Con estos antecedentes se ha seleccionado del catálogo de selección de boquillas del Anexo H el modelo 030B0114.



Figura 4.14 Boquilla Danfoss modelo 030B0114.

Esta es una boquilla de pulverización estándar para atomizar combustibles líquidos en quemadores de alta presión, cuenta con un filtro de bronce sinterizado y un filtro de malla de monel. (DANFOSS, 2014)

Tabla 4.6 Características de la boquilla seleccionada.

Característica.	Valor
Capacidad	2,25 $\left[\frac{Gal}{h}\right]$
Ángulo de Pulverización	60°
Pulverización	B (Semisólido)
Forma	Cónica
Peso	0,4 [kg]
Capacidad Filtro Bronce	1,35 $\left[\frac{Gal}{h}\right]$
Capacidad Filtro Malla	1,5 – 11 $\left[\frac{Gal}{h}\right]$

Fuente: (DANFOSS, 2014)

4.1.1.6. CÁLCULO DE LA CHIMENEA.

Las chimeneas son conductos que sirven para dar salida a la atmósfera libre a gases resultantes de una combustión o de una reacción química para su dispersión en el ambiente. (Martínez, pág. 2)

El tipo de fluido que circula por la chimenea es quien da las características a la misma, por lo que resulta imprescindible conocer los componentes del mismo y sus respectivos parámetros. Cuando se da la combustión mediante un combustible líquido, se arrojan ciertos componentes, los cuales se pueden comparar con los elementos que constituyen el aire, haciendo un símil de sus propiedades, como se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Composición de los gases de combustión.

Componente	% en Peso	
	Aire	Fuel Oil
CO ₂	0,05	20,8
H ₂ O	0,56	7,6
SO ₂	0,00	0,4
N ₂	75,05	70,0
O ₂	23,07	0,0
Ar	1,27	1,1
Otros	—	0,1
Calor Epecífico $\frac{kcal}{kg * ^\circ C}$	0,23	0,25
Densidad Normal $\frac{kg}{N * m^3}$	1,288	1,311
$\frac{kg_{aire}}{kg_{combustible}}$	—	14,9

Fuente: (Martínez, pág. 3)

Cuando se habla de densidad normal esta se refiere a la densidad tomada a ciertos parámetros estándares, como presión de 1 atm y temperaturas de hasta 20°C. (Martínez, pág. 4)

Para lograr expulsar los gases de combustión se debe generar una depresión que permita que se dé una absorción desde la superficie de la chimenea a lo largo de la misma, pero lo cual existen 2 métodos de evacuación de humos o gases de combustión de Tiro Forzado o de Tiro Natural. En el primer caso se usa un ventilador que absorbe los gases y los empuja hacia la abertura de la chimenea, como se muestra en la figura 4.15 lo que ocasiona una mayor inversión, además de que aumenta el consumo eléctrico de todo el sistema.

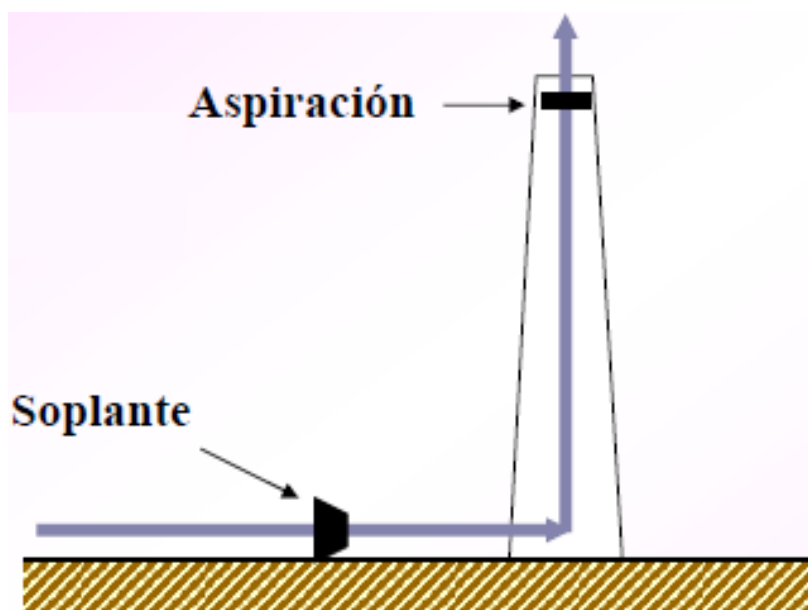


Figura 4.15 Chimenea con desalajo de gases por tiro forzado.

(Departamento de Ingeniería Química de la universidad de Castilla, pág. 6)

En el caso de desalojo de gases por Tiro Natural, se aprovecha el empuje de Arquímedes que sufren los gases calientes al estar rodeados de otros fríos, el tiro es calculado por la diferencia de pesos debido a su densidad entre las columnas de gases calientes que pasan por la chimenea y los gases fríos que están a su alrededor, relacionándolos con la altura de la chimenea, considerando ambas columnas como de aire a temperaturas distintas pero uniformes. (Martínez, pág. 6)

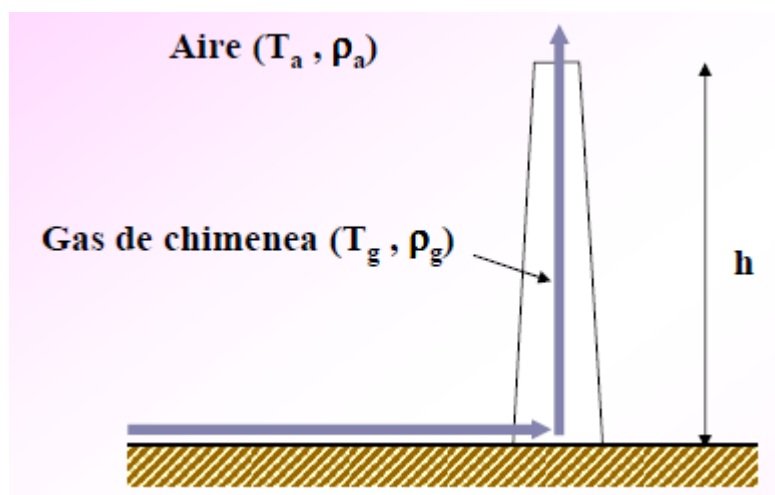


Figura 4.16 Chimenea con desalojo de gases con tiro natural.

(Departamento de Ingeniería Química de la universidad de Castilla, pág. 3)

Para determinar el diámetro de la chimenea se usó la ecuación [4.21.], que nos permite determinar este parámetro en función de las condiciones de trabajo de los gases y su densidad normal.

$$D_{chimenea} \geq \sqrt{\frac{4 * Q_g * (273 + T_g)}{\pi * 273 * V_g * \delta_{normalg}}} \quad [m] \quad [4.21.]$$

Dónde:

- Q_g : Flujo másico de los gases en [Kg/s]
- T_g : Temperatura de salida de los gases. [°C]
- V_g : Velocidad de los gases. [m/s]
- δ_{ng} : Densidad normal de los gases. [Kg/m³]

La temperatura de salida de los gases (T_g) una vez que han pasado por el intercambiador, se determinó de manera experimental mediante un pirómetro digital debidamente calibrado, se pudo obtener los resultados mostrados en la tabla 4.8.

Tabla 4.8 Tomas experimentales de la temperatura de salida de los gases.

Toma	Temperatura de los gases a la salida del Intercambiador [°C]
1	135
2	152,7
3	146,4
4	150,1
5	147
6	149,8
7	144,3
8	147
9	146,7
10	153,8
Temperatura Promedio	147,28

De donde se toma:

$$T_g = 150 \text{ °C}$$

La velocidad de los gases recomendada para estos procesos es de entre 5 y 15 [m/s]. Para efectos de cálculo se usará una velocidad promedio igual a [10m/s], y un 8% de exceso de aire. (Martínez, pág. 4)

El flujo másico de los gases se determina mediante la ecuación [4.22.]. (Cálculo de chimeneas, pág. 1)

$$Q_g = 1,2 * (PF + e * PC) * \frac{P}{n * PCI} \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad [4.22.]$$

Dónde:

- *PF*: Poder Fumífero. [Nm³/Kg]
- *e*: Porcentaje de exceso de aire.
- *PC*: Poder Coburivero. [Nm³/Kg]
- *n*: Rendimiento del calentador.
- *PCI*: Poder calorífico inferior. [KJ/Kg]
- *P*: Potencia térmica útil del generador. [KW]

Para un proceso de combustión por medio del uso de diesel, se indican sus propiedades en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Propiedades del Diesel en procesos de combustión.

PCS	PCI	PC	PF
$\frac{kJ}{Nm^3}$	$\frac{kJ}{Nm^3}$	$\frac{kJ}{Nm^3}$	$\frac{Nm^3}{Kg}$
43100	42300	11,5	12,3

Fuente: (Cálculo de chimeneas, pág. 2)

$$Q_g = 1,2 * (12,3 + 0,08 * 11,5) * \frac{125,5}{0,92 * 42300}$$

$$Q_g = 0,0516 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

De donde:

$$D_{chimenea} \geq \sqrt{\frac{4 * 0,0516 * (273 + 150)}{\pi * 273 * 10 * 1,3}}$$

$$D_{chimenea} \geq 0,088 \text{ [m]}$$

Dada la disponibilidad en el mercado se usó un ducto de 0,1 m de diámetro.

$$D_{chimenea} = 0,1 \text{ [m]}$$

La altura de la chimenea está dada mediante la norma NTE INNEN 2 124:98 debido a no existir una normativa para calentadores de agua a diesel en el país, dicha

altura será de al menos 1,1 m sobre el techado del lugar en donde se instalara el quemador (INEN, 1998, pág. 9), por tanto se tiene que la altura de la chimenea estará dada por:

$$h_{chimenea} = h_{Lugar\ de\ ordeño} + 1,1 \ [m] \quad [4.23.]$$

$$h_{chimenea} = 3 + 1,1$$

$$h_{chimenea} = 4,1 \ [m]$$

4.1.2. DISEÑO DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO.

A la salida del calentador del agua se coloca un recipiente adiabático que recolectará toda el agua para poder realizar las recirculaciones tanto en la etapa de calentamiento como en la etapa de descarga.

En la figura 4.17 se observa la disposición de dicho tanque el mismo que une los dos circuitos, haciendo posible que en primer lugar se pueda controlar la temperatura, dándole una recirculación al intercambiador y en segundo lugar se pueda hacer la dosificación en la cantidad de agua requerida.

Cabe recalcar que este no será un tanque a presión ya que tendrá un orificio para mantener la presión atmosférica.

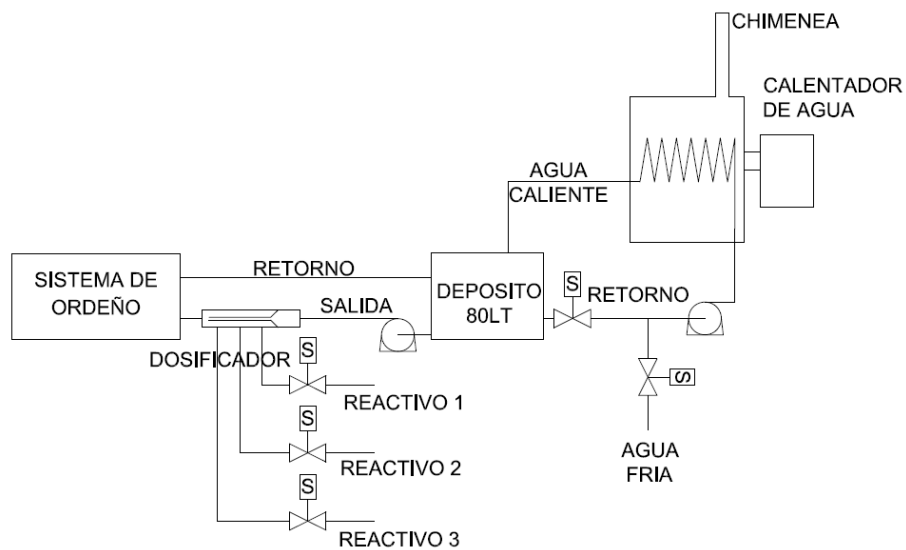


Figura 4.17 Diagrama esquemático del sistema de limpieza.

Se diseñará el depósito tomando en cuenta el volumen total (V_t) de agua que ocupará el circuito del sistema de ordeño y teniendo en consideración lo siguiente:

- Material: Acero inoxidable
- Capacidad: 25% más del V_t
- Número de tomas de entrada: 2
- Número de tomas de salida: 2
- Aislamiento térmico: Si
- Geometría: Cilíndrico

$$V_t = \pi r^2 L \quad [4.24.]$$

Donde:

- r: radio de la tubería del sistema de ordeño
- L: longitud de la tubería del sistema de ordeño

Como:

$$r = 25,4[\text{mm}]$$

$$L = 40[\text{m}]$$

Entonces:

$$V_t = \pi \times 0,0254^2 \times 40$$

$$V_t = 0,081\text{m}^3$$

$$V_t = 81\text{lt}$$

El volumen de diseño será del 25% más de V_t .

$$V_{\text{diseño}} = 81 \times 1,25$$

$$V_{\text{diseño}} = 101,25\text{lt}$$

Se toma como volumen de diseño:

$$V_{\text{diseño}} = 100 \text{ lt}$$

Dadas las dimensiones comerciales de las planchas de acero, se aprovechará al máximo el material debido a esto se barolará una plancha de acero inoxidable en su lado más angosto que mide 1,22 [m], para poder utilizar toda la altura de 2,44 [m] que nos brinda su distancia más larga.

De esta manera se obtiene el diámetro del tanque mediante la ecuación [4.25.].

$$P = \pi \times diam \quad [4.25.]$$

$$P = 1,22 \text{ m}$$

$$diam = \frac{P}{\pi}$$

$$diam = \frac{1,22}{\pi} = 0,388 \cong 0,38\text{m}$$

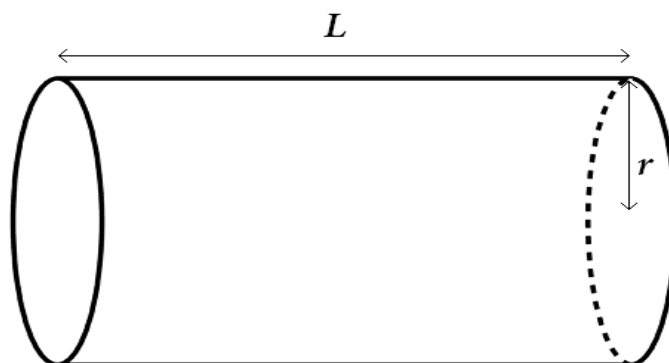


Figura 4.18 Depósito de almacenamiento.

Partiendo del volumen del cilindro se calcula la longitud que debe tener el tanque.

$$V = \pi r^2 L$$

$$V = \pi (0,19)^2 L$$

$$L = \frac{0,1}{\pi (0,19)^2}$$

$$L = 0,88 \cong 0,90 \text{ m}$$

$$L \cong 0,90 \text{ m}$$

Se tomará una longitud igual a 0,90 [m] para la elaboración del tanque.

Se recortan 2 tapas de 38 [cm] de diámetro de los restantes de la plancha y se ensambla el tanque. Luego se perforan los 4 agujeros para las entradas y salidas y un agujero más para el respiradero, debido a que no es un tanque a presión.

Se colocarán las patas de soporte, se recubrirá de lana de vidrio para evitar pérdidas de calor hacia el medio ambiente y se coloca un recubrimiento con plancha de acero galvanizado.

4.1.3. SELECCIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO.

La correcta selección del material aislante así como de su espesor son primordiales para optimizar los procesos de calentamiento, este actúa como una barrera que retarda la transferencia de calor, disminuyendo pérdidas de calor y por ende aumentando el consumo de combustible.

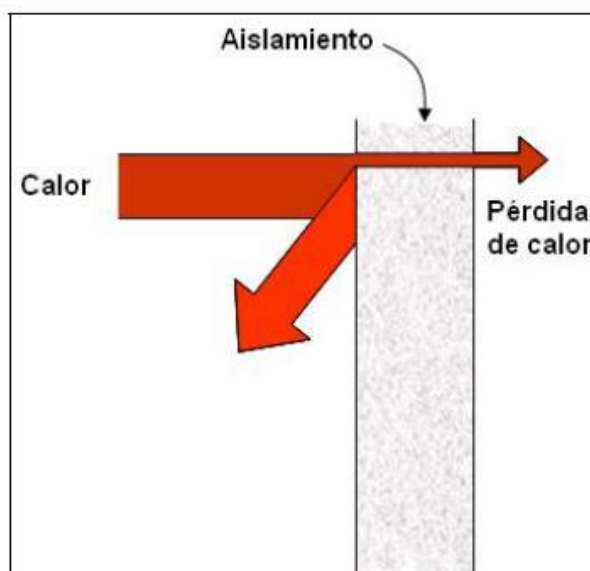


Figura 4.19 Resistencia al flujo de calor dado por un aislante.

(Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía, 2009, pág. 3)

Existen materiales para aislamiento que se comportan de manera satisfactoria en el rango de temperaturas de -268°C hasta 1000°C .

Otra razón importante por la que son muy usados los aislantes se debe a la protección del personal, ya que alguien puede tocar alguna superficie por accidente y

sufrir serias quemaduras, es por esto que se establece dentro de las normas de seguridad industrial que las superficies calientes deben estar por debajo de los 60°C.

Para este proyecto se ha seleccionado un aislante térmico de fibra de vidrio, debido a su bajo costo, la facilidad de su montaje y su baja conductividad térmica igual a 0,05(W/m*K). (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, pág. 3)



Figura 4.20 Aislante de lana vídrica.

(Ursa Glasswool, pág. 9)

El espesor será seleccionado de acuerdo a los diámetros de cada componente y su temperatura máxima de trabajo. (Ver Anexo K)

Los espesores adecuados para cada sección del calentador se los muestra en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 Espesor del aislante para cada sección del sistema.

Sección	Diámetro [m]	Temperatura máxima de trabajo [°C]	Espesor del aislante [m]
Tanque de Calentamiento	0,65	450	0,165
Chimenea	0,10	150	0,127
Depósito de Almacenamiento	0,38	80	0,152

Fuente: (Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía, 2009, pág. 27)

4.1.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.

El módulo para la etapa de dosificación que se construirá, se basa en el método de dosificación por presión negativa. Se pretende construir un diseño económico, funcional, y de larga vida útil, que proporcione las cantidades exactas de detergente al agua para una mezcla eficiente que cumpla con el objetivo de remover todos los microorganismos y bacterias que puede haber en el sistema mecánico de extracción de leche.

De esta manera se analizó un mecanismo que vaya en serie con la línea principal de leche del sistema mecánico de ordeño en la cual se pueda añadir la cantidad exacta del desinfectante y que se mezcle con el flujo de agua.

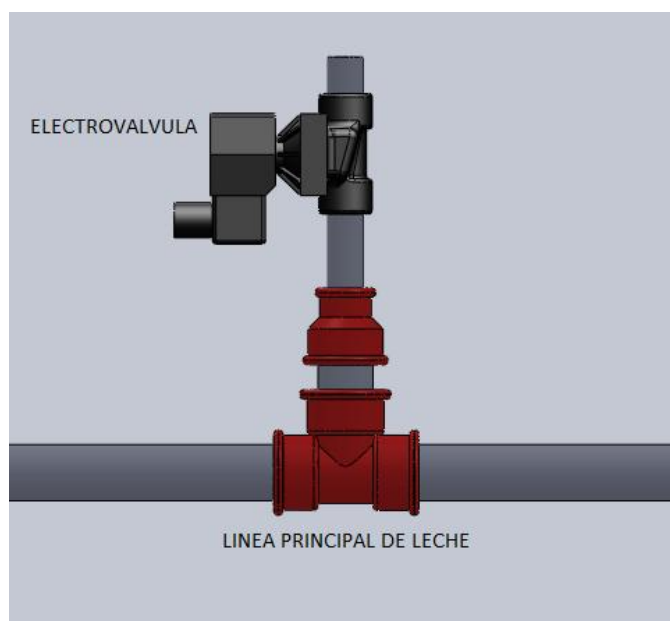


Figura 4.21 Sistema de dosificación mediante electroválvula.

La principal dificultad es suministrar la cantidad exacta de reactivo para dicha mezcla sin que la presión de la bomba empuje el agua hacia los contenedores de los reactivos.

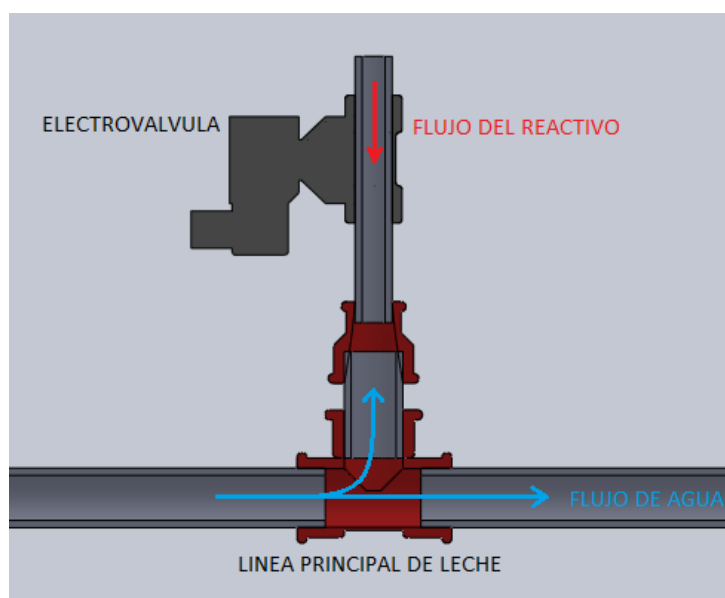


Figura 4.22 Flujos de agua y reactivo dentro del dosificador.

Por lo que se realizó una modificación al sistema mediante una reducción como se muestra en la figura 4.23 para direccionar al flujo a través de la “Te” y evitar dicho empuje.

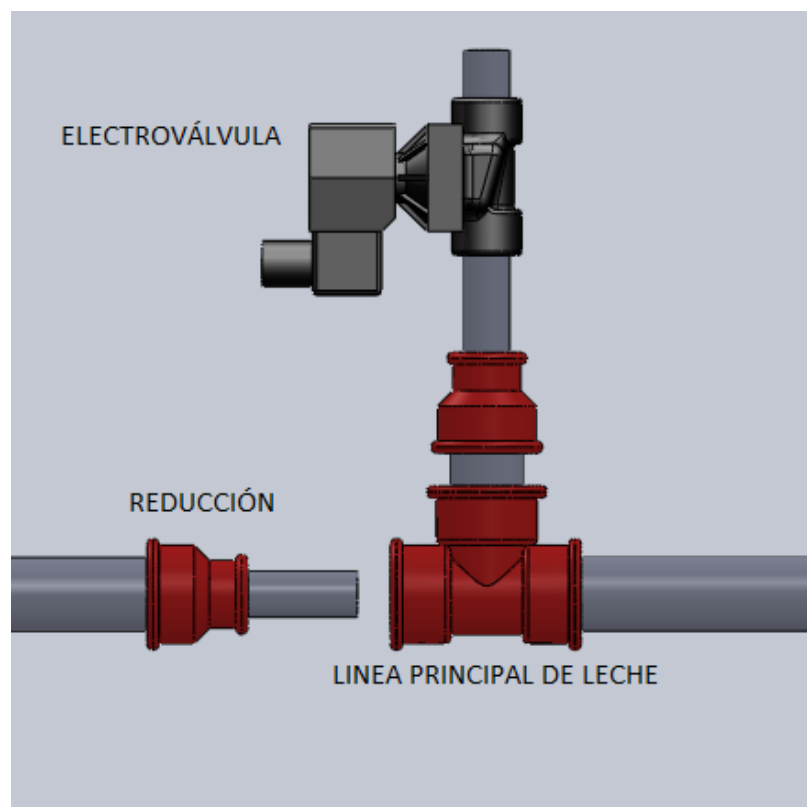


Figura 4.23 Modificación al sistema de dosificación.

La reducción es roscada para ser acoplada a la “Te” de 1 pulgada sellando uno de los extremos, por la primera derivación de la Te se acopla un niple de ½ pulgada mediante una reducción donde irá la electroválvula de descarga del agente a mezclar.

En la figura 4.24 se muestra el esquema de construcción del sistema de dosificación diseñado. Por la tubería principal de una pulgada fluye agua en la dirección que indica la flecha azul con un caudal de agua de 110 Lt/min el cual es

suministrado por la bomba, mientras que en la dirección que indica la flecha roja fluye el reactivo, el mismo que es absorbido por la presión negativa que se genera en la línea principal a la altura del neplo.

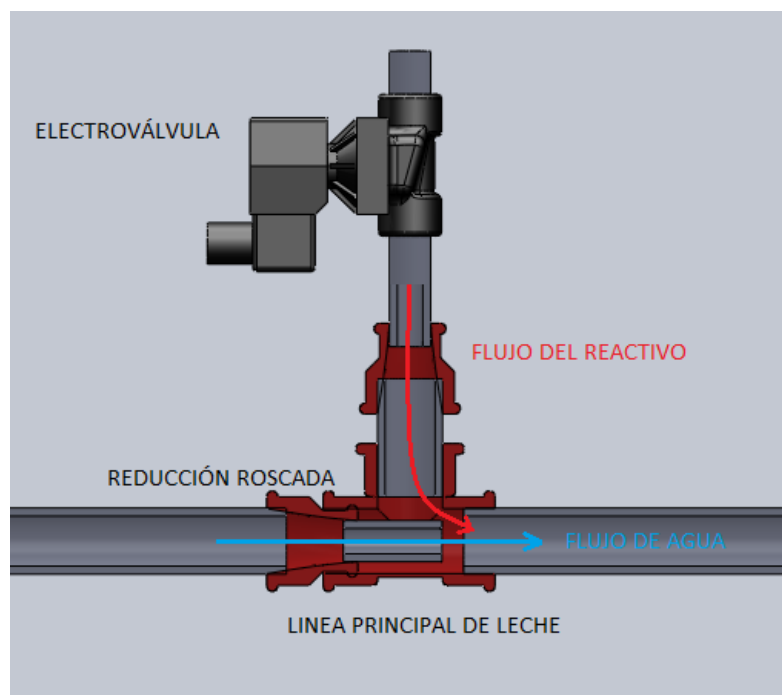


Figura 4.24 Flujo del agua y reactivo debido a la modificación.

La cantidad de reactivo que se inserta dependerá exclusivamente del tiempo de apertura de la válvula, pero las cantidades no serán exactas ya que la columna de reactivo en el tanque es variable, y al variar la altura también será variable la velocidad de salida del reactivo. De tal forma, para unificar el caudal de salida del reactivo se requiere una bomba.

Se ha ocupado una bomba de baja presión (0,5bares) que suministra $45[\text{cm}^3/\text{s}]$, la cual entrega siempre la misma cantidad de volumen independientemente de la

columna de reactivo que exista en el tanque, eliminando el inconveniente de la variación en la dosificación.

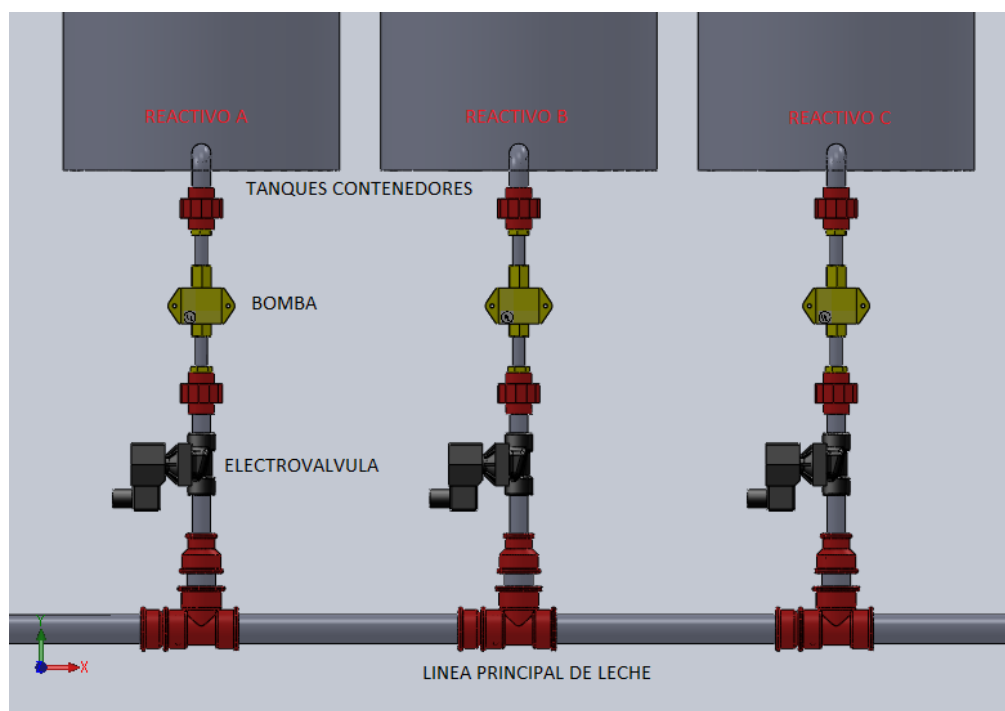


Figura 4.25 Sistema de Dosificación de tres reactivos.

Debido a que son 3 los reactivos que se emplearán para los lavados diarios, se colocan símiles en serie para suministrar uno a uno los químicos que se necesitarán y que serán controlados según la fase del proceso de forma automática.

Los tiempos de apertura de las válvulas dependen de la cantidad a suministrar, en el caso de que se requiera suministrar 80 cm^3 se requieren 1,77 segundos.

$$t = \frac{V}{Q} \quad \rightarrow \quad t = \frac{80 \text{ cm}^3}{45 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}} \quad \rightarrow \quad t = 1,77 \text{ segundos}$$

Para suministrar 160 cm^3 se requiere tener abierta la electroválvula un periodo de 3,54 segundos.

$$t = \frac{V}{Q} \quad \rightarrow \quad t = \frac{160 \text{ cm}^3}{45 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}} \quad \rightarrow \quad t = 3,54 \text{ segundos}$$

Se presenta en la tabla 4.11 el listado de materiales así como la cantidad de unidades utilizadas en el ensamble del sistema de dosificación.

Tabla 4.11 Partes que constituyen el sistema de dosificación automático.

Cantidad	Accesorio
3	Contenedores de 5 Galones.
3	Neplo de ½ pulgada x 25mm
3	T de 1 pulgada
3	Neplo corrido de 1 pulgada
6	Reducción de 1 pulgada a ½ pulgada
3	Neplo de ½ pulgada x 15mm
3	Electroválvula
3	Micro bombas
6	Neplo de 1/4 pulgada x 10mm
6	Universales de 1/2

Se determinará la duración que los reactivos tendrán en cada uno de sus recipientes, calculando el consumo que cada uno de estos tendrá.

El detergente alcalino y el detergente ácido del cual se requieren 160 cm^3 diarios de cada uno, durará aproximadamente 118 días.

$$t = \frac{V}{Q} \quad \rightarrow \quad t = \frac{5 \text{ gal}}{160 \frac{\text{cm}^3}{\text{día}}} \quad \rightarrow \quad t = 118 \text{ días}$$

Del sanitizador se requieren 320 cm^3 diarios, lo que durará aproximadamente 59 días.

$$t = \frac{V}{Q} \quad \rightarrow \quad t = \frac{5 \text{ gal}}{320 \frac{\text{cm}^3}{\text{dia}}} \quad \rightarrow \quad t = 59 \text{ dias}$$

4.1.5. CÁLCULO DE LAS BOMBAS DE RECIRCULACIÓN.

Para las recirculaciones necesarias debido al proceso se usarán bombas centrífugas, que permitan obtener los caudales, velocidades y presiones correctos para cumplir con cada ciclo del proceso.



Figura 4.26 Bomba centrífuga.

(Pedrollo, pág. 40)

Para determinar la potencia de las bombas se hará un análisis del sistema mediante la ley de la conservación de la energía. Existen tres tipos de energías que se consideran en un problema de flujo en tuberías.

1. La Energía Potencial. Que se presenta debido a la elevación de la sección a analizar en relación a un nivel de referencia.

2. La Energía Cinética. Debido a la velocidad del flujo al que el fluido se encuentra dicha sección a analizar.

3. La Energía de Flujo. Que representa la cantidad de trabajo necesario para mover el fluido de una sección a otra, contra una presión.

Se conoce de la misma manera que en un sistema “la energía no se crea ni se destruye solo se transforma”, partiendo de este enunciado al observar la figura 4.23 se llega a la conclusión de que la energía en el punto 1 es igual a la energía en el punto 2 del sistema y que lo que cambian son sus parámetros de velocidad y presión debido al cambio de sección.

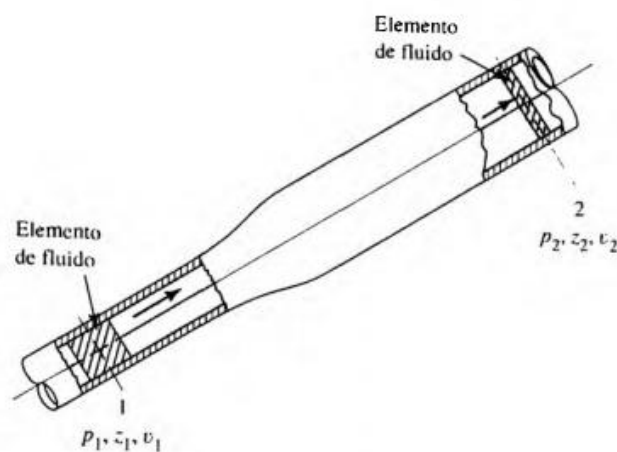


Figura 4.27 Ley de la conservación de la energía.

(Mott, 2006, pág. 167)

4.1.5.1. RECIRCULACIÓN EN EL CALENTAMIENTO.

El diagrama de la figura 4.28 muestra el circuito de recirculación del agua hacia el calentador en la cual la bomba que entrega 20 [Lt/min] proporciona un caudal constante al calentador y por otro lado envía el fluido de regreso para volver a ser calentado.

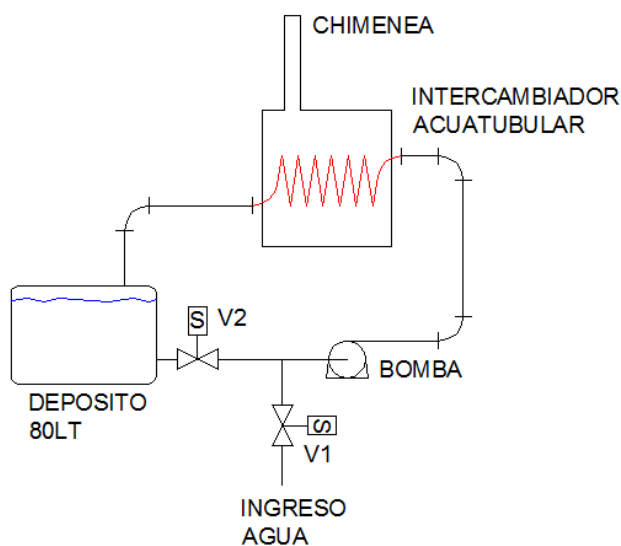


Figura 4.28 Circuito de calentamiento.

Por lo tanto es importante conocer la potencia que la bomba debe tener para efectuar esas recirculaciones sin llegar a sobre dimensionarla. Se realizó dicho cálculo mediante el análisis de la conservación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad [4.26.]$$

Donde:

- P_1 : Presión inicial a la que se encuentra el fluido.
- γ : Peso específico del fluido.
- z_1 : Altura de donde se impulsará el fluido.
- v_1 : Velocidad inicial del fluido.
- g : Aceleración de la gravedad.
- h_A : Energía que se agrega al fluido mediante un dispositivo mecánico (bomba).
- h_R : Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico.
- h_L : Pérdidas de energía en el sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.
- P_2 : Presión a la que se encuentra el fluido en el punto 2.
- z_2 : Altura que deberá alcanzar el fluido luego de su impulsión.
- v_2 : Velocidad que tendrá el fluido en el punto 2.

Dado que en el caso de nuestro sistema, el agua inicialmente estará en reposo, se encontrará a presión atmosférica y se trabajará a una misma altura, la ecuación [4.26.] se reduce a:

$$h_A = \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad [4.27.]$$

hL viene dado por la ecuación [4.28.].

$$hL = Hl + Hs \quad [4.28.]$$

Donde:

- Hl : Pérdidas primarias en el sistema.
- Hs : Pérdidas secundarias en el sistema.

Se conoce el caudal de la bomba:

$$Q_{bomba} = 20 \frac{lt}{min}$$

$$Q_{bomba} = 0,02 \frac{m^3}{min}$$

Por lo tanto la velocidad en la tubería de cobre estará dada por la ecuación:

$$v_2 = \frac{Q}{A} \quad [4.29.]$$

El área para la tubería de cobre está dada por:

$$A_{cobre} = \pi * \left(\frac{Di_{tubo}}{2}\right)^2 \quad [m^2] \quad [4.30.]$$

$$A_{cobre} = \pi * \left(\frac{0,019}{2}\right)^2$$

$$A_{cobre} = 2,84 * 10^{-4} [m^2]$$

Reemplazando en la ecuación [4.28.] se puede obtener la velocidad del agua en la tubería de cobre.

$$v_{2cobre} = \frac{0,02}{2,84 \times 10^{-4}}$$

$$v_{2cobre} = 70,42 \frac{m}{min}$$

$$v_{2cobre} = \frac{70,42}{60} \frac{m}{s}$$

$$v_{2cobre} = 1,17 \frac{m}{s}$$

Para el cálculo de las pérdidas primarias (H_l) que están dadas en función de la rugosidad del material del ducto, se calcula el número de Reynolds.

$$N_R = \frac{v * D}{\vartheta} \quad [4.31.]$$

Dónde:

- v : Velocidad del Fluido
- ϑ : Viscosidad cinemática del fluido.
- D : Diámetro de la tubería

La viscosidad cinemática será tomada a la temperatura media de trabajo del agua que es de 45°C. (Mott, 2006, pág. 589)

$$\vartheta = 6,00 * 10^{-7} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$N_R = \frac{1,17 * 0,019}{6,00 * 10^{-7}}$$

$$N_R = 3,71 * 10^4$$

Por lo tanto se encuentra dentro del rango de flujo turbulento como lo indica la tabla 4.12.

Tabla 4.12 Números de Reynolds críticos.

Flujo	Numero de Reynolds
Laminar	< 2000
Transitorio	2000 a 4000
Turbulento	> 4000

Fuente: (Mott, 2006, pág. 231)

Se obtendrá las rugosidades para cada material de la tabla 4.13.

Tabla 4.13 Valores de diseño de la rugosidad de tubos.

Material	Rugosidad ϵ [m]
Vidrio	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$
Tubo extruido: cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$

Fuente: (Mott, 2006, pág. 235)

Se conoce que la rugosidad del cobre es:

$$\epsilon_{cobre} = 1,5 * 10^{-6} m$$

Por tanto la rugosidad relativa será:

$$\frac{D}{\epsilon_{cobre}} = \frac{0,019 m}{1,5 * 10^{-6} m}$$

$$\frac{D}{\epsilon_{cobre}} = 12700$$

En el Diagrama de Moody, presentado en el Anexo F, se encuentra el valor del factor de fricción que está en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa (Mott, 2006, pág. 237).

$$f_{cobre} = 0,022$$

Para calcular las pérdidas por fricción en la tubería de cobre se usará la ecuación de Darcy.

$$Hl = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad [4.32.]$$

$$Hl_{cobre} = f_{cobre} * \frac{L_{total\ serpentin}}{Di_{tubo}} * \frac{(v_{2cobre})^2}{2g}$$

$$Hl_{cobre} = 0,022 * \frac{26,01}{0,019} * \frac{(1,17)^2}{2(9.8)}$$

$$Hl_{cobre} = 2,10 [m]$$

De la misma manera para el tramo de tubo PVC se calcula la velocidad en el tubo y con la rugosidad del material, se obtiene las pérdidas primarias.

$$v_{2PVC} = \frac{Q}{A_{PVC}}$$

Dado que en este tramo del sistema la tubería empleada será de 1/2 pulgada de diámetro, se tiene que:

$$A_{PVC} = \pi * (6,35 * 10^{-3})^2$$

$$A_{PVC} = 1,27 * 10^{-4} [m^2]$$

Se determina la velocidad:

$$v_{2PVC} = \frac{0,02}{1,27 * 10^{-4}}$$

$$v_{2PVC} = 157,88 \left[\frac{m}{min} \right]$$

$$v_{2PVC} = 2,63 \left[\frac{m}{s} \right]$$

El número de Reynolds será:

$$N_R = \frac{v_{2PVC} * D_{PVC}}{\vartheta}$$

$$N_R = \frac{2,63 * 0,0127}{6,00 * 10^{-7}}$$

$$N_R = 5,57 * 10^4$$

La rugosidad para el plástico PVC está dada por la tabla 4.10.

$$\epsilon_{PVC} = 3,0 * 10^{-7} \text{ m}$$

La rugosidad relativa es:

$$\frac{D}{\epsilon_{PVC}} = \frac{0,0127 \text{ m}}{3,0 * 10^{-7} \text{ m}} = 42333,33$$

Del diagrama de Moody se obtiene el factor de fricción.

$$f_{PVC} = 0,02$$

Tomando en cuenta que la longitud de tubería PVC que se usará para cerrar el circuito de calentamiento será de 15 [m], se encontrarán las pérdidas primarias por medio de la ecuación [4.32.]:

$$Hl_{PVC} = f * \frac{L}{D_{PVC}} * \frac{(v_{2PVC})^2}{2g}$$

$$Hl_{PVC} = 0,02 * \frac{15}{0,0127} * \frac{(2,63)^2}{2(9.8)}$$

$$Hl_{PVC} = 8,34 \text{ [m]}$$

Una vez que se han determinado las pérdidas primarias en la sección de calentamiento se procede a encontrar las pérdidas secundarias en el mismo.

Las pérdidas a la entrada están dadas por la ecuación [4.33.] donde la constante de resistencia K es 1, dado que la tubería se localizará en la salida del tanque reservorio como se muestra en la figura 4.29.

$$H_s = k \frac{v^2}{2g} \quad [4.33.]$$

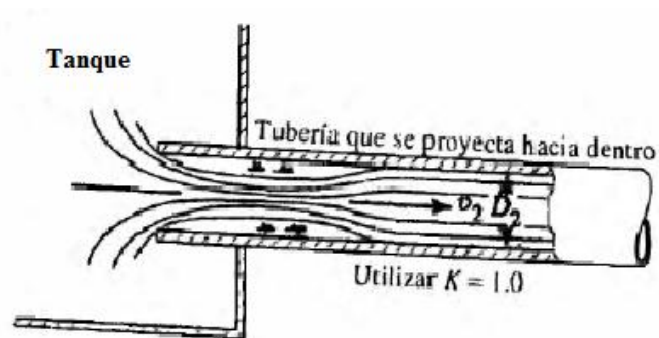


Figura 4.29 Coeficiente de resistencia de entrada.

(Mott, 2006, pág. 293)

De esta manera en el tramo en el que se utiliza tubería PVC se tiene:

$$H_{SPVC} = k_{PVC} \frac{(v_{2PVC})^2}{2g}$$

Como:

$$k = 1$$

$$v_{2PVC} = 2,63 \left[\frac{m}{s} \right]$$

De donde:

$$H_s = 1 \frac{(2.63)^2}{2(9.8)}$$

$$H_s = 0,35 \text{ m}$$

Para las pérdidas en los accesorios la constante k viene dada por la ecuación [4.34.]:

$$k = \left(\frac{Le}{D}\right) f t \quad [4.34.]$$

Donde $\left(\frac{Le}{D}\right)$ es un valor adimensional que representa la longitud equivalente en diámetros de tubería y viene dado por la tabla 4.14.

Tabla 4.14 Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería Le/D .

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería.
	$\left[\frac{Le}{D}\right]$
Codo estándar a 90°	30
Te estándar con flujo directo	20
Te estándar con flujo en ramal	60
Válvula de ángulo abierta por completo	150
Vuelta cerrada en retorno (U)	50

Fuente: (Mott, 2006, pág. 297)

Se calculan las pérdidas debido a los codos, tomando en cuenta que se usarán 3 codos estándar a 90°, así se tiene:

$$f_{PVC} = 0,02$$

De la tabla 4.14 se tiene:

$$\frac{Le}{D} = 30$$

De donde:

$$k_{codos} = 30 f_{PVC}$$

$$k_{codos} = 0,6$$

$$H_s = k * \frac{v^2}{2g} * \#codos \ [m] \quad [4.35.]$$

$$H_{S_{codos}} = k_{codos} * \frac{(v_{2PVC})^2}{2g} * \#codos$$

$$H_{S_{codos}} = 0,6 * \frac{(2,63)^2}{2(9.8)} * 3$$

$$H_{S_{codos}} = 0,63 \ [m]$$

Las pérdidas en la “Te” están dadas tomando en cuenta que esta tendrá un flujo directo y que se usará únicamente una, por lo que de la tabla 4.14 se tiene:

$$\frac{Le}{D} = 20$$

Se encuentra K para las Te:

$$k_{Te} = 20 f_{PVC}$$

$$k_{Te} = 0,4$$

$$H_s = k * \frac{v^2}{2g} * \#Te \text{ [m]} \quad [4.36.]$$

$$H_{sTe} = k_{Te} * \frac{(v_{2PVC})^2}{2g} * \#Te$$

$$H_{sTe} = 0,4 * \frac{(2,63)^2}{2(9.8)} * 1$$

$$H_{sTe} = 0,14 \text{ m}$$

Se usará una electroválvula en esta sección del sistema, de la tabla 4.14 se tiene:

$$\frac{Le}{D} = 150$$

Se obtiene K :

$$k_{válvula} = 150 f_{PVC}$$

$$k_{válvula} = 3$$

$$HS_{válvulas} = k_{válvulas} * \frac{v^2}{2g} * \#válvulas \text{ [m]} \quad [4.37.]$$

$$HS_{válvulas} = k_{válvulas} * \frac{(v_{2PVC})^2}{2g} * \#válvulas$$

$$HS_{válvulas} = 3 * \frac{(2,63)^2}{2 * (9,8)} * 1$$

$$HS_{válvulas} = 1,06 \text{ [m]}$$

Una vez analizadas las pérdidas secundarias en el tramo de tubería de PVC se analizarán las pérdidas secundarias en el serpentín de cobre.

En el serpentín de cobre, se utilizarán 2 codos estándar a 90°.

Se conoce que:

$$f_{cobre} = 0,022$$

De la tabla 4.14 se obtiene:

$$\left(\frac{Le}{D}\right) = 30$$

Entonces se calcula K para los codos.

$$k_{codos} = 30 f_{cobre}$$

$$k_{codos} = 0,66$$

De la ecuación [4.35.], se obtienen las pérdidas para los codos.

$$H_{S_{codos}} = k_{codos} * \frac{(v_{2_{cobre}})^2}{2g} * \#codos$$

$$H_{S_{codos}} = 0,66 * \frac{(1,17)^2}{2(9.8)} * 2$$

$$H_{S_{codos}} = 0,09 [m]$$

Para la conexión entre los tubos del serpentín se usarán 52 accesorios en forma de “U”.

Así de la tabla 4.14 se tiene:

$$\left(\frac{Le}{D}\right)_U = 50$$

Se encuentra K para los accesorios “U”.

$$k_U = 50 f_{cobre}$$

$$k_U = 1,0$$

Se obtienen las pérdidas para los accesorios “U” por medio de la ecuación [4.38.].

$$H_{S_U} = k_U * \frac{(v_{2_{cobre}})^2}{2g} * \#U \quad [4.38.]$$

$$H_{S_U} = 1,00 * \frac{(1,17)^2}{2(9.8)} * 53$$

$$H_{S_U} = 3,70 [m]$$

Una vez terminado el análisis de las pérdidas en todos los tramos de la tubería de la sección de calentamiento se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 4.15 Total de pérdidas primarias en la sección de calentamiento.

Material de la tubería	Pérdidas [m]
Cobre	2,10
PVC	8,34
Total Pérdidas Primarias (Hl)	10,44

Tabla 4.16 Total de pérdidas secundarias en la sección de calentamiento.

Material de la Tubería	Pérdidas en accesorios [m]				Pérdidas por salidas de tanque [m]	Total Pérdidas por accesorios [m]
	Codos	Te	Válvulas	U		
Cobre	0,09	-	-	3,70	-	3,79
PVC	0,63	0,14	1,06	-	0,35	2,18
Total Pérdidas Secundarias (Hs)						5,97

De donde:

$$Hl_{total} = 10,44 [m]$$

$$Hs_{total} = 5,97 [m]$$

Así se tiene:

$$hL = Hl_{total} + Hs_{total} [m]$$

$$hL = 16,41 [m]$$

Se calculará la columna de agua que debe vencer la bomba usando la ecuación [4.27].

$$hA = \frac{(v_2)^2}{2g} + hL [m]$$

$$hA = \frac{(2,63)^2}{2(9,8)} + 16,41$$

$$hA = 16,76 [m]$$

La energía que una bomba transmite a un fluido viene dado por (Mott, 2006, pág. 207):

$$PA = hA \cdot \gamma \cdot Q [W] \quad [4.39.]$$

Dónde:

- PA: Potencia que se agrega al fluido.
- hA : Columna de agua que debe vencer la bomba.
- γ : Peso específico del fluido.
- Q : Caudal de ingreso del agua.

Donde el peso específico estará dado por la densidad a la temperatura media de trabajo del agua (45°C).

$$\gamma = 9710 \left[\frac{N}{m^3} \right]$$

$$PA = hA \cdot \gamma \cdot Q_{agua}$$

$$PA = 16,76 * (9710) * 0,02$$

$$PA = 3254,8 \left[N * \frac{m}{min} \right]$$

$$PA = 54,25 \left[N * \frac{m}{s} \right]$$

$$PA = 54,25 [W]$$

La eficiencia de la bomba se estimará con un valor de 83%, valor habitual para bombas pequeñas y de bajo caudal. (Ingemecánica)

$$eM = 0,83$$

Por lo tanto la potencia nominal PI de la bomba viene dado por:

$$PI = \frac{PA}{eM} [W] \quad [4.40.]$$

Dónde:

- PI : Potencia de entrada a la bomba, dada por el motor.
- PA : Potencia transmitida al fluido.
- eM : Eficiencia mecánica

$$PI_{calentamiento} = \frac{54,25}{0,83}$$

$$PI_{calentamiento} = 65,36 [W]$$

$$PI_{calentamiento} = 0,1 \text{ HP}$$

Dada la disponibilidad en el mercado se usará una bomba de ½ HP, que cumpla con los requerimientos de caudal y temperatura necesarios para la ejecución de la limpieza. En la tabla 4.17 se presentan las características de la bomba seleccionada.

Tabla 4.17 Características bomba Pedrollo CPM600.

Potencia	Caudal	Máxima columna de agua	Temperatura de Trabajo
[HP]	$\left[\frac{Lt}{min} \right]$	[m]	[°C]
0,5	20	20	-10 a 90

Fuente: (Pedrollo, pág. 41)

4.1.5.2. RECIRCULACIÓN EN LA DESCARGA.

La velocidad del fluido de limpieza es muy importante ya que se forzarán al sistema a pasar a una fase turbulenta donde la limpieza y la remoción de la piedra de leche mejoran considerablemente. Según la norma NTC 5245 en los sistemas de limpieza en sitio la velocidad mínima de recirculación de la solución a 50°C es de 1,6 [m/s]. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (INCOTEC), 2004, pág. 44)

Por lo tanto para que la velocidad del fluido dentro de las tuberías sea de 1,6 m/s se calculará el caudal que debe entregar una bomba al sistema, por medio de la ecuación [4.41].

$$Q_{descarga} = V_{descarga} \cdot A_{descarga} \quad [4.41.]$$

Las tuberías del sistema de ordeño instalado en la Hacienda “La Alborada” tienen un diámetro de 38.1 [mm], por lo que su área será:

$$A_{descarga} = \pi * (0,001905)^2$$

$$A_{descarga} = 1,14 * 10^{-3} [m]$$

De donde:

$$Q_{descarga} = 1,6 * 1,14 * 10^{-3}$$

$$Q_{descarga} = 1,82 * 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{descarga} = 109,2 \left[\frac{Lt}{min} \right]$$

El sistema de ordeño utiliza una bomba para la succión de la leche a través de toda la tubería de descarga con una potencia de 1 de HP. Dado que el agua de limpieza circula por el mismo tramo por el que circula la leche y además presentan densidades similares como se muestra en la tabla 4.18, siendo este el parámetro principal del que dependen las pérdidas, se ha decidido usar una bomba de características similares y que cumpla con el caudal requerido para alcanzar la velocidad dada por la norma NTC-5245.

Se tomará un 25% de exceso en la potencia para eliminar cualquier riesgo debido a pérdidas no consideradas en los tramos de tubería PVC que conforman el sistema de dosificación, el cual va en serie a la línea de descarga.

Tabla 4.18 Comparativo entre agua y leche.

Fluido	Densidad [$\frac{kg}{m^3}$]
Leche	1028-1035
Agua	990

Fuente: (Celis & Juárez, 2009), (Incropera & De Witt, 1999)

Dado esto la potencia usada para la bomba en la descarga deberá ser de:

$$PI_{descarga} = 1 * 1,25$$

$$PI_{descarga} = 1,25 [HP]$$

Por tanto debido a la disponibilidad en el mercado se usará una bomba de:

$$PI_{descarga} = 1,50 [HP]$$

Tabla 4.19 Características bomba Pedrollo CPm650.

Potencia [HP]	Caudal [$\frac{Lt}{min}$]	Máxima columna de agua [m]	Temperatura de Trabajo [°C]
1,5	110	27	-10 a 90

Fuente: (Pedrollo, pág. 41)

4.2. SISTEMA ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO.

4.2.1. IDENTIFICACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES.

Para que el funcionamiento del sistema clean in place sea automático, se debe identificar los sensores y actuadores que hagan esto posible. Se realizará esta identificación mediante el diagrama P&ID de la figura 4.30 en el cual se observa el sistema de limpieza completo.

El gráfico describe explícitamente los componentes a usar. Se indican los actuadores y los sensores en la tabla 4.20.

Tabla 4.20 Sensores y actuadores que conforman el sistema CIP.

CÓDIGO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
V1	Electroválvula N.C.	Ingreso de Agua
V2	Electroválvula N.C.	Recirculación al Intercambiador
V3	Electroválvula N.C.	Paso del Reactivo 1
V4	Electroválvula N.C.	Paso del Reactivo 2
V5	Electroválvula N.C.	Paso del Reactivo 3
V6	Electroválvula N.C.	Paso al sistema de ordeño
V7	Electroválvula N.C.	Recirculación al Tanque Reservorio
V8	Electroválvula N.C.	Drenaje
V9	Electroválvula N.O.	Paso al Tanque frio
MY-01	Bomba	Bomba recirculación al Intercambiador
MY-02	Bomba	Bomba recirculación al Tanque Reservorio
B3	Bomba	Bomba reactivo 1
B4	Bomba	Bomba reactivo 2
B5	Bomba	Bomba reactivo 3
BY-01	Quemador de Diesel	Quemador de Diesel
LTC-01	Controlador de Nivel	Sensor de nivel de alta y baja
TTC-01	Controlador de Temperatura	Sensor de Temperatura
LT-01	Sensor de nivel	Reactivo 1
LT-02	Sensor de nivel	Reactivo 2
LT-03	Sensor de nivel	Reactivo 3
PLC	Controlador Lógico Programable	Controlador Lógico Programable

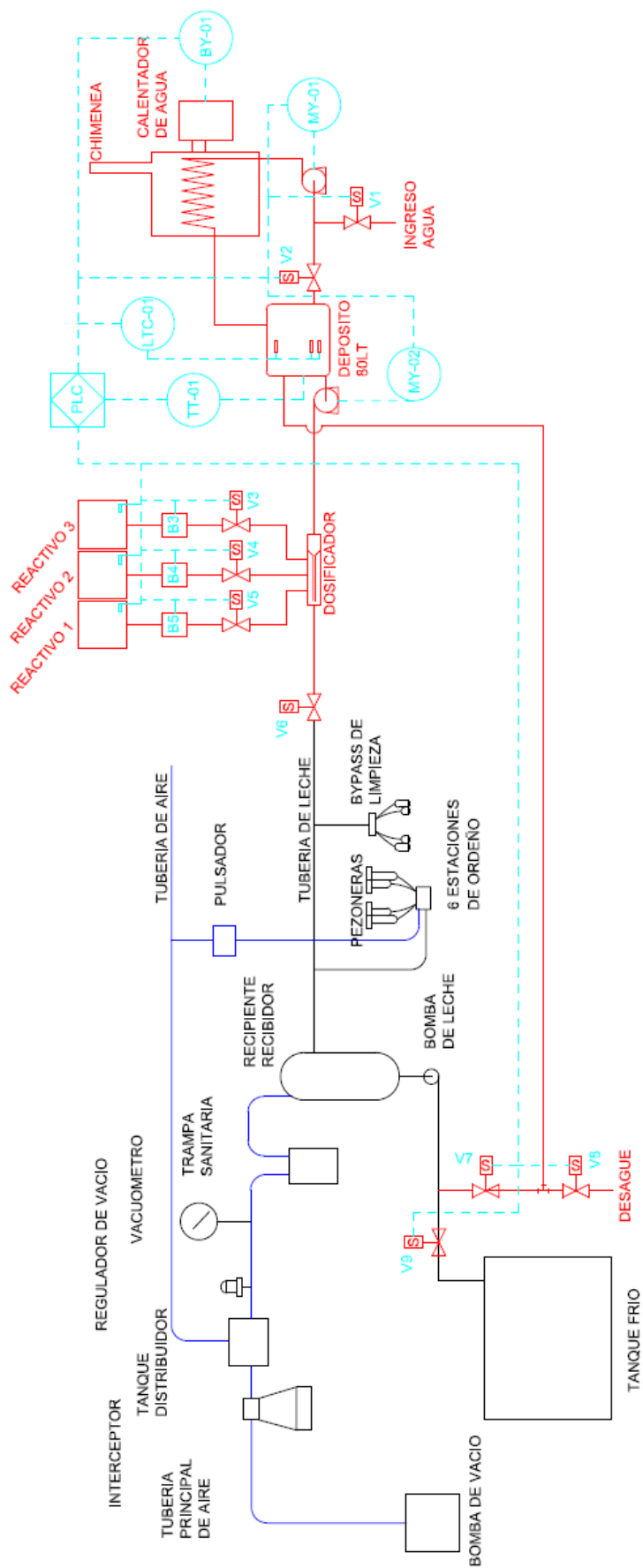


Figura 4.30 Diagrama P&ID del sistema CIP.

4.2.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES Y DISPOSITIVOS.

Se evalúan diferentes aspectos importantes a la hora de adquirir los elementos, sensores y actuadores, que constituirán el sistema CIP.

En primer lugar se evalúa el tipo de elemento según los cálculos analizados en la parte de diseño, segundo la disponibilidad en el mercado local y tercero el precio, siendo las características lo más relevante.

Se clasifican y se dan los criterios de cada uno de los elementos de forma detallada.

4.2.2.1. BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA.

Para las bombas se emplearán para MY-01 una potencia de $\frac{1}{2}$ de HP y para MY-02 una potencia de 1,5 HP, según los cálculos expresados en la sección de diseño mecánico, y con un voltaje de alimentación de 220VAC a 60Hz.

Las bombas a utilizar tanto en la etapa de calentamiento como en la de descarga, trabajan con la ayuda de un motor, los mismos que presentan las características mostradas en la tabla 4.21 y 4.22 respectivamente.

Tabla 4.21 Características eléctricas de la bomba MY-01.

Parámetro	Unidad	Valor
Alimentación eléctrica	Ø/Hz/V	1/60/220AC
Potencia	HP	0,5
Consumo de corriente	A	2,7
Nivel de protección del motor	IP	54

Fuente: (Pedrollo, págs. 42,43)

Tabla 4.22 Características eléctricas de la bomba MY-02.

Parámetro	Unidad	Valor
Alimentación eléctrica	Ø/Hz/V	1/60/220AC
Potencia	HP	1,5
Consumo de corriente	A	8,8
Nivel de protección del motor	IP	54

Fuente: (Pedrollo, págs. 42,43)

4.2.2.2. BOMBAS DE REACTIVOS.

Para las bombas de alimentación constante de reactivos se seleccionaron bombas de baja potencia, las mismas que trabajan a 0,5 bares, manteniendo un caudal de 45 [cm³/seg].



Figura 4.31 Bomba para la dosificación de reactivos.

Las características eléctricas se presentan en la tabla 4.23.

Tabla 4.23 Características eléctricas de las bombas de dosificación de reactivos.

Parámetro	Unidad	Valor
Alimentación eléctrica	V	12DC
Potencia	W	18
Consumo de corriente	A	1,5

4.2.2.3. ELECTROVÁLVULAS.

Para el manejo de todos los fluidos mediante las electroválvulas es importante conocer todas las condiciones de operación para poder seleccionar correctamente el actuador.

Para las electroválvulas V1 y V2, el material del cuerpo de la válvula debe resistir agua a una temperatura de 80°C, y la presión máxima que soportarán será la que brinda la bomba que las antecede, para la sección de calentamiento se ha seleccionado una bomba que nos brinda 30 PSI de presión. Esta será la presión manométrica mínima que deberán soportar las electroválvulas.

Las electroválvulas de alimentación de reactivos V3, V4 y V5 deben ser de un material resistente a los mismos, en este caso pueden ser de acero inoxidable o de plástico, la presión mínima que deberán soportar será la que entrega la bomba que empuja los reactivos igual a 0,5 bares. Debido al costo se ha seleccionado las electroválvulas plásticas. La figura 4.32 muestra la electroválvula plástica que será usada en el sistema CIP.



Figura 4.32 Electroválvula plástica usada en el sistema CIP.

Las electroválvulas V6, V7 y V9 son electroválvulas que están directamente en contacto con la leche, por ende su cuerpo debe ser de acero inoxidable. Deben soportar temperaturas de 80°C y una presión de 4 bares, presión negativa de la bomba de succión. La válvula V8 también deberá soportar una presión mínima de 4 bares, ya que se encuentra en la misma línea que las anteriores, pero al no tener contacto directo con la leche se ha seleccionado una válvula plástica.



Figura 4.33 Electrovalvula de acero inoxidable usada en el sistema CIP.

El voltaje de alimentación de todas las electroválvulas será de 220 VAC. En la tabla 4.24 se indican los principales parámetros de las válvulas a utilizar.

Tabla 4.24 Características de las válvulas a utilizar.

Válvula	Material	Presión de trabajo [Psi]	Temperatura de trabajo [°C]	Voltaje de Alimentación [VAC]	Diámetro de la toma [in]
V1	Plástico	8,45	80	220	0,5
V2	Plástico	8,45	80	220	0,5
V3	Plástico	7,25	80	220	0,5
V4	Plástico	7,25	80	220	0,5
V5	Plástico	7,25	80	220	0,5
V6	Acero Inoxidable	58,02	80	220	1,5
V7	Acero Inoxidable	58,02	80	220	0,5
V8	Plástico	58,02	80	220	0,5
V9	Acero Inoxidable	58,02	80	220	1,5

Tomando en cuenta los parámetros principales que deben cumplir las válvulas, se seleccionaron las válvulas presentadas en la tabla 4.25.

Tabla 4.25 Características de las válvulas seleccionadas.

Material	Alimentación [VAC]	Corriente [A]	Presión máxima de trabajo [PSI]	Temperatura máxima de trabajo [°C]
PVC	220	0,5	145	90
Acero Inoxidable	220	0,5	145	180

4.2.2.4. QUEMADOR DE DIESEL.

Se ha seleccionada un quemador que nos proporciona 300000 BTU, con una potencia media de 80000 Watts, las características eléctricas de este elemento se presentan en a tabla 4.26.

Tabla 4.26 Características eléctricas del quemador de Diesel.

Parámetro	Unidad	Valor
Alimentación eléctrica	Ø/Hz/V	1/60/230 \pm 10%
Potencia eléctrica total	kW	0,17
Flujo total de corriente	A	0,85
Nivel de protección	IP	40
Potencia del motor eléctrico	kW	0,14
Consumo de corriente del motor	A	0,85
Corriente de arranque del motor	A	3,5
Nivel de protección del motor	IP	20

Fuente: (BURNERS, 2014, pág. 2)

4.2.2.5. **SENSORES DE NIVEL.**

Se emplearán 3 sensores de nivel tipo switch que nos permitirán conocer el momento en que se han agotado los reactivos necesarios para la limpieza de la tubería de ordeño. En la figura 4.34 se muestra los sensores usados en los tanques contenedores de reactivos del sistema CIP.



Figura 4.34 Sensor de nivel para el almacenamiento de reactivos del sistema CIP.

Las características eléctricas del sensor de nivel se presentan en la tabla 4.27.

Tabla 4.27 Características eléctricas del sensor de nivel.

Material	Alimentación	Flujo de corriente máximo	Temperatura de trabajo.
	[VDC]	[A]	[°C]
Polipropileno	0 – 200	1,5	-30 – 85

Fuente: (Coto Technology, 2006)

4.2.2.6. CONTROLADOR DE NIVEL.

El nivel en el tanque de recirculaciones se detectará mediante un controlador de nivel de electrodos, el mismo que tiene un contacto que se cierra cuando el nivel de líquido se encuentra en el límite inferior y se abre cuando el nivel del líquido se encuentra en el límite superior. Para esto se ha seleccionado el controlador de nivel presentado en la figura 4.35.



Figura 4.35 Controlador de nivel usado en el sistema CIP.

Las características eléctricas de este controlador se las presenta en la tabla 4.28.

Tabla 4.28 Características eléctricas controlador de nivel.

Alimentación	Consumo	Voltaje máximo en la salida de control	Corriente máxima en la salida de control
[VAC]	[A]	[VAC]	[A]
110/220	0,015	250	5

Fuente: (Camsco Electric Co. Ltd)

4.2.2.7. SENSOR DE TEMPERATURA.

La temperatura del agua en el tanque reservorio se la determinará mediante un sensor PT-100, el cual no es más que un tipo particular de RTD (Dispositivo Termorresistivo), debido a que este presenta un rango de variación de temperatura menor al que presentan las termocuplas tipo K y tipo J, como se muestra en la tabla 4.29.

Tabla 4.29 Rangos de temperatura de los sensores considerados.

Sensor	Rango de Temperatura [°C]
Termocupla tipo J	-180 – 750
Termocupla tipo K	-180 – 1372
PT-100	-100 – 200

Fuente: (Arian, pág. 2)

Una ventaja adicional de los PT-100 se debe a que estos no se oxidan ni se corroen como los cables que conforman las termocuplas, las cuales pueden presentar lecturas erróneas debido a este fenómeno. Los sensores Pt-100 no se descomponen gradualmente, entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre su circuito interno, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso. Se puede observar el sensor usado en la figura 4.36.



Figura 4.36 Sensor Pt – 100 usado en la medición de temperatura del sistema CIP.

4.2.2.8. CONTROLADOR DE TEMPERATURA.

La temperatura del agua se medirá en el tanque mediante un sensor Pt – 100, el mismo que irá conectado a un controlador de temperatura (TT-01). Este controlador permite ingresar la temperatura de acuerdo a los requerimientos del usuario, y actúa mediante un contacto que se cierra cada vez que la temperatura medida es menor a la temperatura ingresada por el operador, y se abre cuando la temperatura medida ha alcanzado o ha superado la temperatura ingresada.

En la figura 4.37 se muestra el controlador de temperatura usado.



Figura 4.37 Controlador de temperatura.

Los parámetros eléctricos del controlador de temperatura se los presenta en la tabla 4.30.

Con estos dispositivos electrónicos programables, es muy fácil seleccionar el tipo de control que se desea para el sistema.

En caso de no requerir tanta exactitud en la temperatura se puede optar por un control ON/OFF, conocido como de encendido y apagado, es decir cuando el nivel de temperatura baje del ingresado, el controlador activará la salida, y cuando el nivel de temperatura suba del ingresado, el controlador desactivará la salida. De la misma manera, si se requiere controlar la temperatura de forma exacta, se podrá seleccionar un control PID el cual evaluará cuando activar o desactivar dicha salida según varios parámetros adicionales, como por ejemplo las perturbaciones medioambientales, el tiempo de establecimiento, el error en estado estacionario, etc. Obviamente este tipo de controles son más complejos de realizar ya que es necesario evaluar el tipo del sistema y su comportamiento por medio de un análisis y modelamiento matemático.

Tabla 4.30 Características eléctricas controlador de temperatura del sistema CIP.

Parámetro	Descripción
Dimensiones	Frontal: 48 x 48 mm Profundidad: 78,8 mm
Métodos de control	ON/ OFF PID PID con auto tunning Fuzzy PID auto tunning
Señal de Entrada	1 – 5 V DC; 4 – 20 mA DC Resistencia: Pt – 100 Termocuplas: J,K,R,B,S,T,E,N,PLII
Señal de Salida	2 Salidas configurables como: Tipo Relé: 220 VAC – 3A max. SSR/SSC drive: 4 – 20 mA DC
Comunicación	RS – 485
Alarmas	3 alarmas
Alimentación	110/220 VAC 50/60 Hz
Consumo	0,045 A

Fuente: (Fuji Electric Systems Co., Ltd., 2010, págs. 6,8,9)

4.2.2.9. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).

Para seleccionar el Controlador Lógico Programable se ha evaluado el número de entradas y salidas que se ocupará debido a los sensores, actuadores, indicadores, selectores y pulsadores que conformarán el sistema.

Una vez seleccionados todos los sensores y controladores a usar se han determinado el número total de entradas y salidas al PLC y el tipo de las mismas, como se muestra en las tabla 4.31 y 4.32 respectivamente.

Tabla 4.31 Número de entradas necesarias en el PLC.

Número de Entradas	Tipo	Uso
1	Digital	Controlador de nivel
1	Digital	Controlador de temperatura
3	Digital	Sensores de nivel reactivos
2	Digital	Selector de proceso
1	Digital	Pulsador de arranque
1	Digital	Paro de emergencia.

Tabla 4.32 Número de salidas necesarias en el PLC.

Número de Salidas	Tipo	Uso
1	Relé	Quemador a Diesel
2	Relé	Bombas de recirculación
3	Relé	Bombas de dosificación
9	Relé	Electroválvulas
10	Relé	Indicadores

Dado esto se necesita un PLC que cumpla con las características presentadas en la tabla 4.33.

Tabla 4.33 Características del PLC a adquirir.

Número de entradas digitales	Número de salidas a Relé	Voltaje de alimentación [V]	Frecuencia [Hz]
9	25	110/220	60

Tomando en cuenta las características necesarias para la aplicación del PLC en el sistema CIP, se ha decidido adquirir un PLC Siemens S7-1200, CPU 1214, como se indica en la figura 4.38.



Figura 4.38 PLC Siemens S7-1200 CPU 1214.

(CONRAD, 19)

Las características principales del PLC seleccionado se muestran en la tabla 4.31.

Tabla 4.34 Características del PLC Siemens S7-1200 CPU 1214.

Parámetro	Valor
Alimentación	85 – 240 V AC
Consumo máximo de corriente	300 mA a 120 V AC 150 mA a 240 V AC
Tensión admisible en DI	24 V DC
Tensión admisible en DO	5 – 30 V DC 5 – 250 V AC
Corriente de salida	2A 30 vatios DC 200 vatios AC
Número de entradas digitales	14
Número de entradas analógicas	2
Número de salidas digitales/relé	10

Fuente: (Siemens AG, 2009)

Debido a que el PLC seleccionado no cuenta con el número de salidas necesarias presentadas en la tabla 4.34, se ha decidido adquirir un módulo extra de 16 salidas a relé. En la figura 4.39 se muestra el módulo adquirido.



Figura 4.39 Módulo de 16 salidas a relé Siemens SM 1222 DQ.

Las características eléctricas del módulo de salidas a relé se presentan en la tabla 4.35.

Tabla 4.35 Características del módulo de salidas a relé Siemens SM 1222 DQ.

Parámetro	Valor
Alimentación de las bobinas	24 V DC
Consumo de corriente / bobina de relé	11 mA
Tensión admisible en DO	5 – 30 V DC 5 – 250 V AC
Corriente de salida	2A
Número de salidas relé	16

Fuente: (Siemens AG, 2009, págs. 38,39)

4.2.2.10. LUCES INDICADORAS.

Para la elaboración del tablero de control se han seleccionado luces piloto como se muestra en la figura 4.40, las mismas que indicarán que parte del proceso se está ejecutando en ese momento, así como también las alarmas que se generen debido a cualquier fallo durante la limpieza.



Figura 4.40 Luces piloto usadas en el sistema CIP.

Las características eléctricas de las luces seleccionadas se presentan en la tabla 4.36.

Tabla 4.36 Características eléctricas de las luces piloto seleccionadas.

Alimentación	Potencia máxima	Consumo de corriente
[VAC]	[W]	[A]
220	3	0,014

4.2.3. SELECCIÓN DE PROTECCIONES Y ELEMENTOS DE MANIOBRA.

4.2.3.1. SELECCIÓN DE CONTACTORES Y RELES TÉRMICOS.

Para la implementación del sistema CIP se usarán 3 contactores junto con 3 relés térmicos para la activación de los motores de las bombas de recirculación y el motor del quemador. Se usará un factor de seguridad de 2 para la selección del relé térmico, dado que la corriente de arranque de los motores es superior a la corriente a plena marcha. Así en la tabla 4.37 se muestra los valores de corriente con los que se seleccionará cada elemento.

Tabla 4.37 Corrientes para la selección de contactores y térmicos.

Elemento	Código	Corriente nominal del elemento	Corriente del relé térmico
		[A]	[A]
Bomba Intercambiador	MY – 01	2,7	5,4
Bomba Descarga	MY – 02	8,8	17,6
Quemador de diesel	BY – 01	0,85	1,7

De acuerdo con los parámetros establecidos para cada elemento se ha seleccionado del catálogo de elementos eléctricos LSIS el contactor mostrado en la figura 4.41, y el respectivo relé que recomienda el fabricante para este contactor.



Figura 4.41 Contactores usados en el sistema CIP.

(LSIS, 2014, pág. 5)



Figura 4.42 Relés usados en el sistema CIP.

(LSIS, 2014, pág. 6)

Las principales características de los contactores y relés seleccionados para cada motor se los presentan en la tabla 4.38.

Tabla 4.38 Contactores y relés seleccionados.

Elemento	Corriente de selección [A]	Modelo del relé	Corriente del relé [A]	Modelo del contactor	Corriente del contactor [A]
Bomba Calentamiento	5,4	MT-32-5	4 – 6	MC-12b	12
Bomba Descarga	17,6	MT-32-15	12 – 18	MC-18b	18
Quemador	1,7	MT-32-5	1,6 – 2,5	MC-9b	9

Fuente: (LSIS, 2014, págs. 5,6)

4.2.3.2. SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO.

La selección del interruptor principal, está dada en función de la suma de las corrientes que consume cada uno de los elementos que están conectados a la misma red. La corriente que deberá soportar el interruptor termomagnético está dada por la ecuación 4.42.

$$I_{total} = \sum \text{Corrientes de los elementos usados} \quad [4.42.]$$

$$\begin{aligned}
 I_{total} = & I_{bomba1} + I_{bomba2} + I_{bombas\ reactivos} + I_{electroválvulas} + I_{quemador} \\
 & + I_{controlador\ de\ nivel} + I_{controlador\ temperatura} + I_{PLC} + I_{modulo\ PLC} \\
 & + I_{luces\ indicadoras}
 \end{aligned}$$

En la tabla 4.39 se presentan los elementos y las corrientes que consumen cada uno.

Tabla 4.39 Corrientes de los elementos eléctricos usados en el sistema CIP.

Elemento	Número de elementos	Corriente por elemento	Corriente total.
		[A]	[A]
Bomba Calentamiento	1	2,7	2,7
Bomba Descarga	1	8,8	8,8
Bomba Reactivos	3	1,5	4,5
Electroválvulas	9	0,5	4,5
Quemador	1	0,85	0,85
Controlador de Nivel	1	0,015	0,015
Controlador de temperatura	1	0,045	0,045
PLC	1	0,15	0,15
Módulo de salida a relé	1	0,18	0,18
Luces Indicadoras	10	0,014	0,14

$$I_{total} = 2,7 + 8,8 + 4,5 + 4,5 + 0,85 + 0,015 + 0,045 + 0,15 + 0,18 + 0,14$$

$$I_{total} = 21,88 [A]$$

Con la corriente total obtenida se seleccionó el interruptor más adecuado del catálogo de elementos LSIS, se presentan sus características principales en la tabla 4.40.

Tabla 4.40 Características del interruptor termomagnético seleccionado.

Modelo	Corriente nominal	Capacidad de ruptura	Numero de polos
BKN 3P C 25A	25 A	10kA200V	3

Fuente: (LSIS, 2014, pág. 1)



Figura 4.43 Interruptor termomagnético usado en el sistema CIP.

4.3. SISTEMA DE CONTROL.

4.3.1. CONTROL SECUENCIAL DEL PROCESO.

Para llevar a cabo todo el proceso de limpieza se necesita seguir un determinado número de pasos de manera secuencial y ordenada, que permita optimizar tiempo y recursos, además de realizar una limpieza acorde a las normas que rigen estos procedimientos.

Se puede analizar la secuencia del proceso de limpieza del sistema Clean In Place mediante diagramas de flujo los cuales servirán posteriormente para realizar el algoritmo ladder de control.

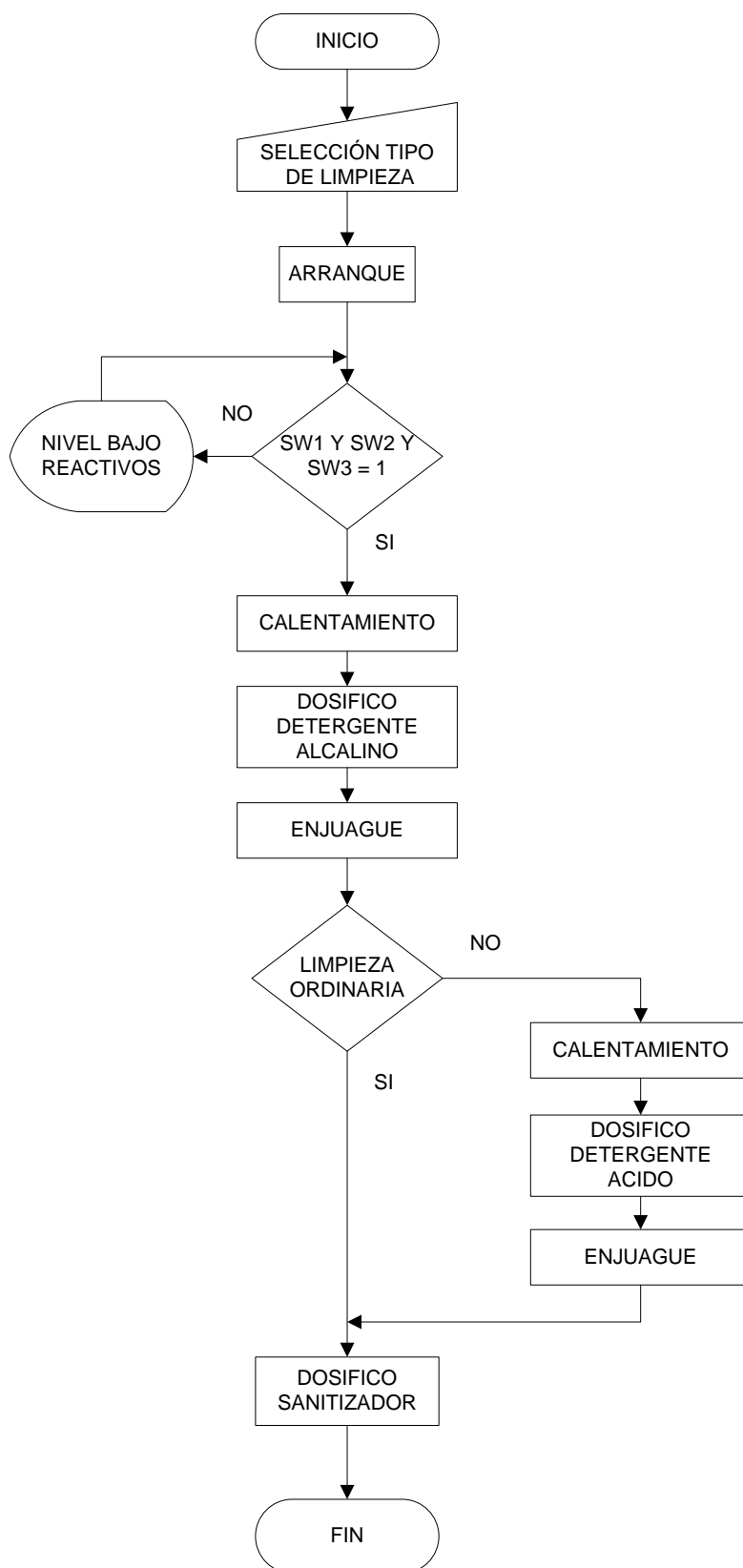


Figura 4.44 Diagrama de proceso general.

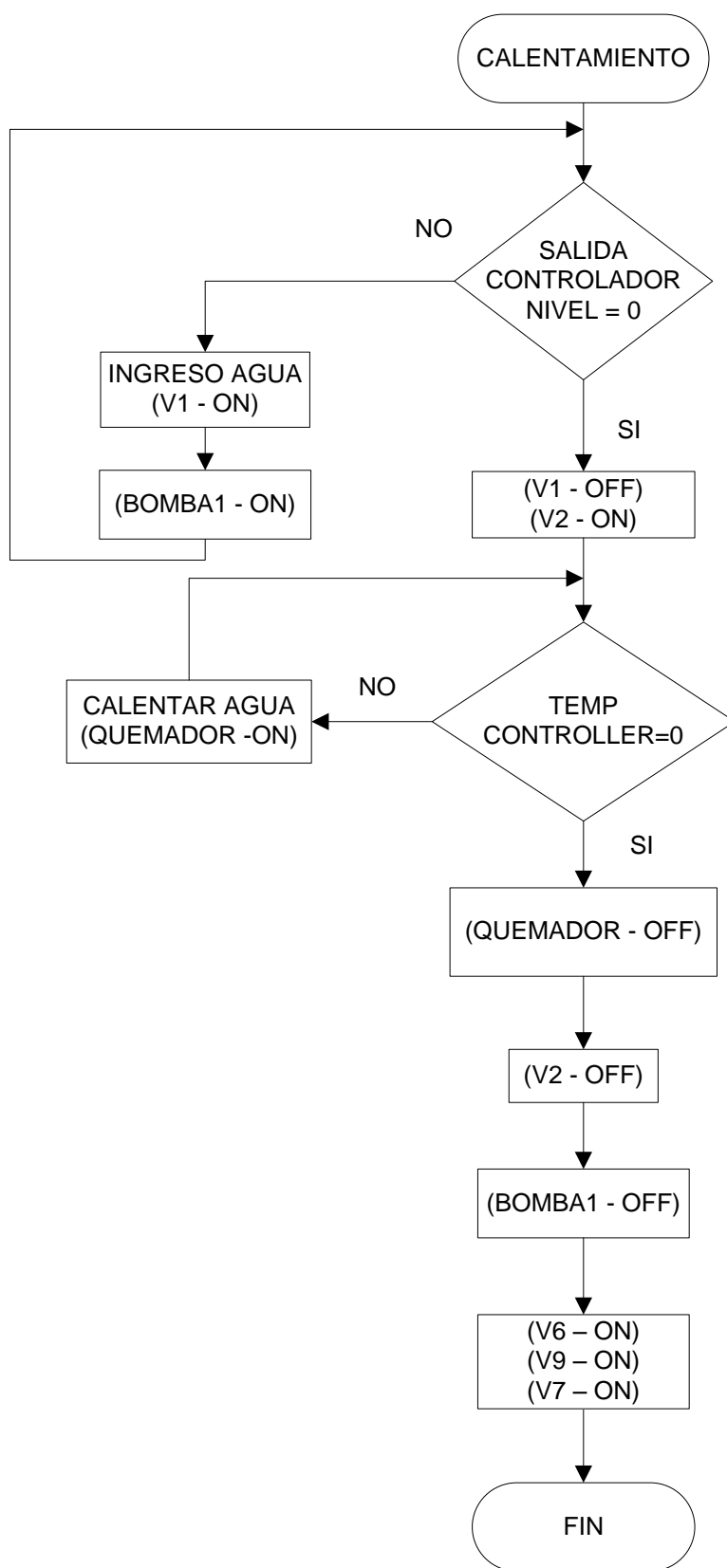


Figura 4.45 Diagrama de rutina de calentamiento.

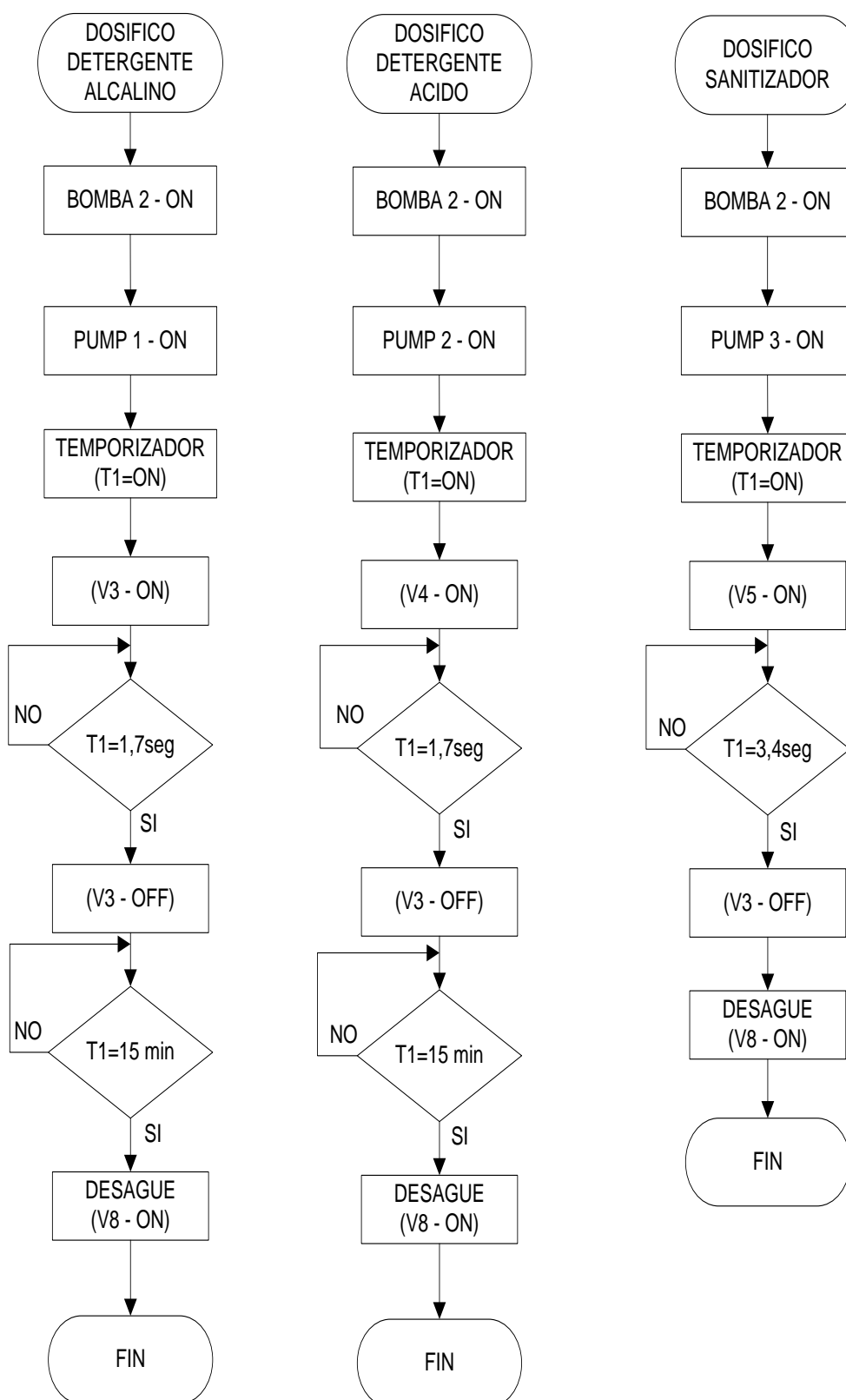


Figura 4.46 Diagramas de las rutinas de dosificación de reactivos.

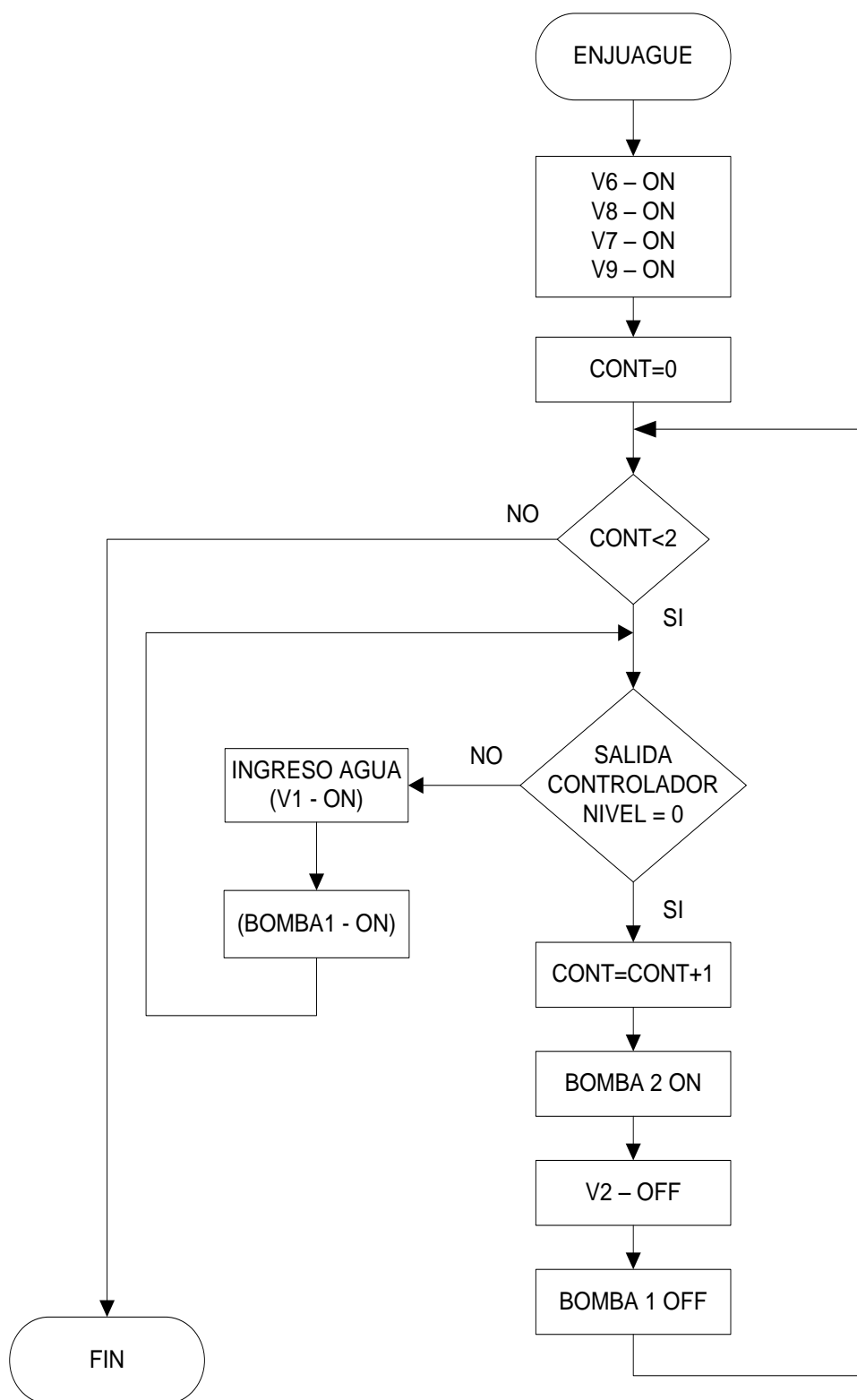


Figura 4.47 Diagrama de rutina de enjuague.

4.3.2. CONTROL DE TEMPERATURA.

Para visualizar y controlar la temperatura del agua se seleccionó un controlador indicador digital de temperatura como se indicó en la figura 4.37. Este tipo de controladores, internamente realizan el acondicionamiento de la señal del sensor usado, poseen una salida de relé la misma que será activada cuando la temperatura medida se encuentra por debajo de la ingresada.

Para efectos de este proyecto, no es necesario controlar la temperatura de forma exacta, ya que según la hoja técnica de los detergentes el rango de temperatura del agua para ser mezclado va desde los 60°C a los 80°C. Por lo tanto se podrá hacer uso del controlador ON/OFF para el control del quemador.

4.3.2.1. INSTALACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA.

Cada controlador dependiendo del fabricante posee sus propias especificaciones y sus propias características, tanto en conexión como en programación.

Como se puede apreciar en el diagrama de la figura 4.48 el controlador digital de temperatura posee 10 bornes de conexión los cuales se distribuyen en alimentación, contacto normalmente abierto para la salida, conmutador para una alarma y la entrada del sensor de temperatura.

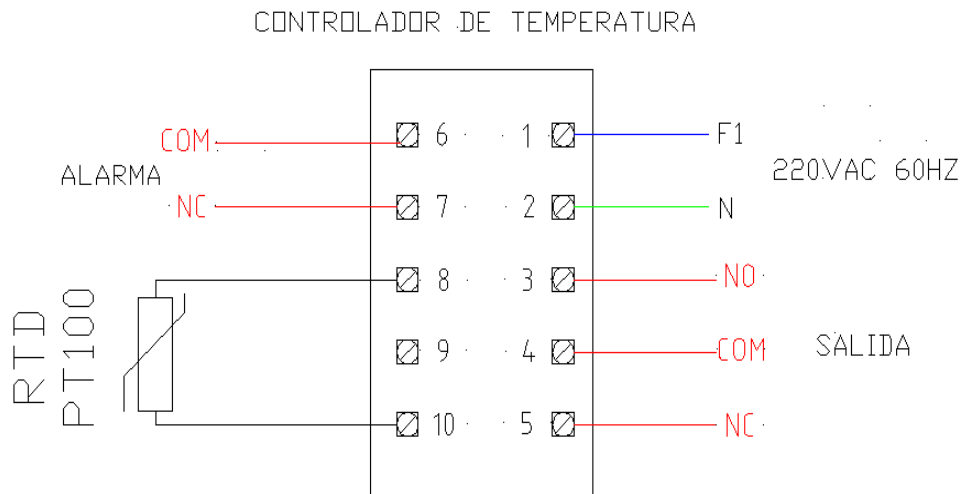


Figura 4.48 Distribución de pines del controlador de temperatura.

Es de vital importancia para el buen funcionamiento del controlador, se tenga en cuenta la polaridad del sensor de temperatura al momento de su conexión.

La configuración de los parámetros del controlador se la realizará por medio del manual del fabricante que se adjunta en el Anexo N.

4.3.3. CONTROL DE NIVEL.

Con el objetivo de controlar el nivel del tanque de almacenamiento, se seleccionó este dispositivo electrónico, el cual funciona mediante el principio de la conductividad. Por lo tanto no funciona en líquidos de baja conductividad. Posee tres electrodos los cuales se disponen dentro del tanque a distintas alturas y que estarán en contacto con el agua.

Se muestra un ejemplo en el diagrama de la figura 4.49 de la distribución de los electrodos.

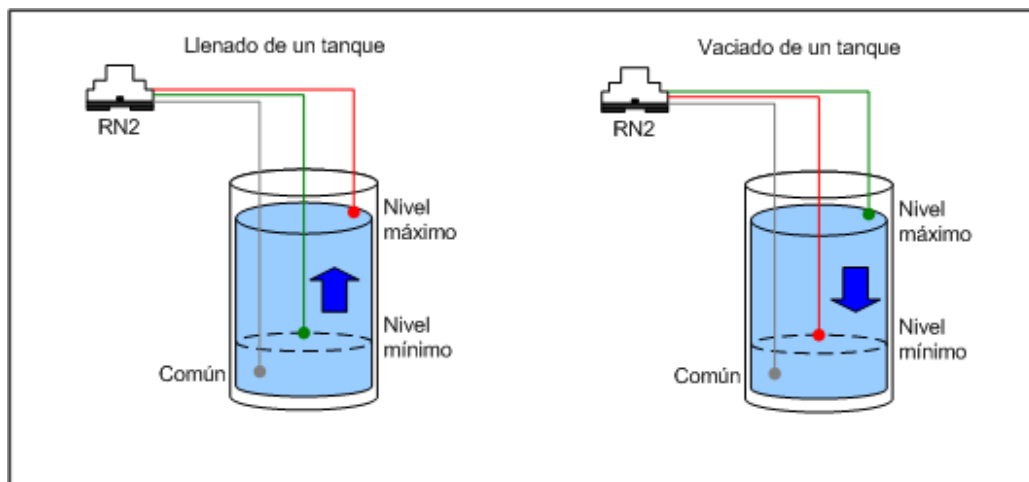


Figura 4.49 Distribución de electrodos dentro del tanque.

(Velásquez Ingenieros Asociados)

Estos equipos tienen la gran ventaja de ser usados para llenado y para vaciado de tanques y cisternas de forma muy sencilla ya que posee un contacto que se cierra cuando el nivel de líquido está en el mínimo y se abre cuando llega a su nivel máximo, además el trabajo en la instalación en comparación de flotadores o sensores ultrasónicos de nivel es relativamente fácil.

Posee una base de conexión estándar de relé de 8 pines y su distribución es la siguiente.

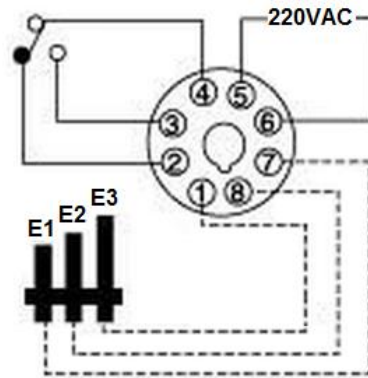


Figura 4.50 Diagrama de conexión del controlador de nivel.

4.3.4. INTERFÁZ HUMANO MÁQUINA (HMI).

La interfaz Humano-Máquina se realizó mediante elementos de control eléctrico.

El encendido de la máquina se lo realizará mediante un interruptor general que se localizará a un costado del gabinete, el mismo que energizará todo el sistema CIP.

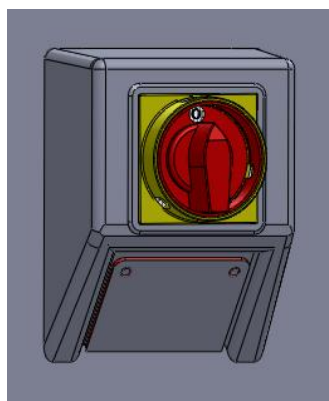


Figura 4.51 Interruptor general del sistema CIP.

Debido a que existen dos tipos de limpieza para este proceso, se dispone de un selector de dos estados, en el cual se elegirá el tipo de limpieza a realizar.

Un botón pulsador de inicio dará el arranque para que empiece la limpieza.

Se podrá ajustar y visualizar la temperatura del calentamiento del agua en el controlador de temperatura.



Figura 4.52 Dispositivos de control del sistema CIP.

Para visualizar la etapa de limpieza en la que se encuentra el sistema CIP, se usaron luces indicadoras verdes las mismas que se encienden de manera secuencial indicando en que parte de la limpieza se encuentra el sistema, dependiendo del tipo de lavado seleccionado.

Si se seleccionó el tipo de limpieza ordinario se prenderán los indicadores de las tres etapas principales, detergente alcalino, enjuague y sanitizador.



Figura 4.53 Indicadores para la limpieza ordinaria en el sistema CIP.

Mientras que para la limpieza especial se encienden los indicadores de todas las etapas, detergente alcalino, enjuague, detergente ácido, enjuague y sanitizador.



Figura 4.54 Indicadores para la limpieza especial en el sistema CIP.

Si alguno de los niveles de los reactivos se encuentran en un nivel bajo se indicará al operador por medio de luces piloto rojas, cual o cuales reactivos están en ese estado.



Figura 4.55 Indicadores de nivel bajo en los reactivos del sistema CIP.

Para precautelar la seguridad de los operadores y de los equipos ante alguna emergencia, se dispone de un PARO DE EMERGENCIA el cual desactiva bombas, cierra válvulas, y desenergiza los dosificadores deteniendo todo el proceso de limpieza. Este constará de su respectiva luz indicadora de la activación del mismo.

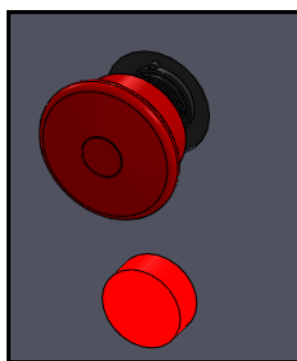


Figura 4.56 Paro de emergencia e indicador de activación.

En la figura 4.57 se muestra la distribución de los dispositivos de control e indicadores que conforman la interfaz humano máquina.

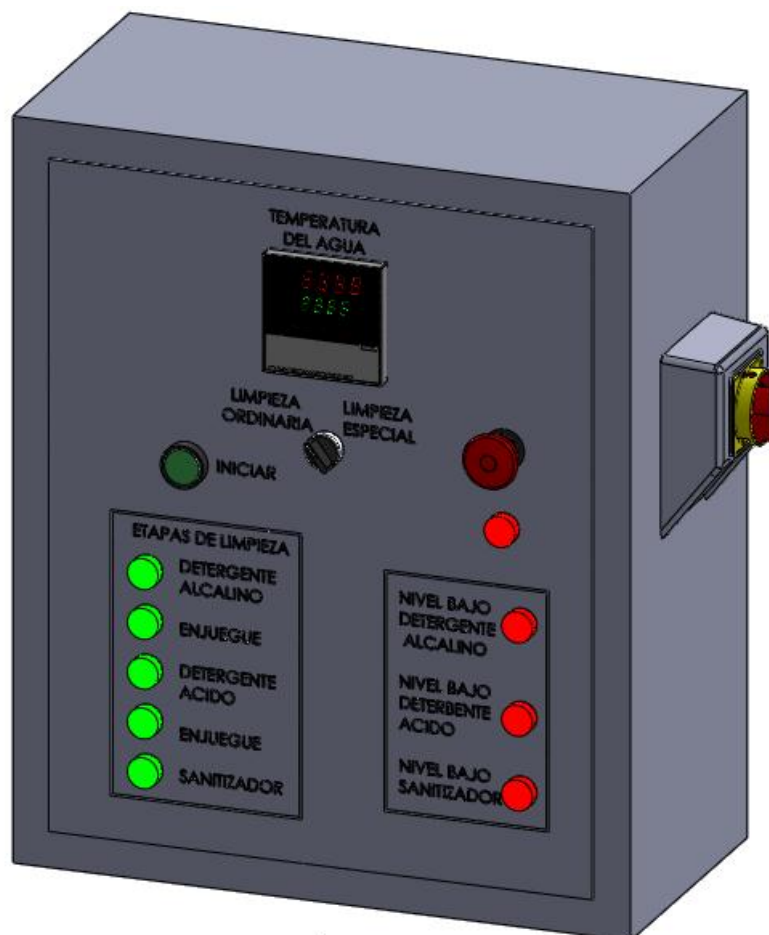


Figura 4.57 HMI del sistema CIP.

CAPÍTULO V

5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CIP.

El presente capítulo muestra de manera general el ensamble y construcción del sistema CIP, las imágenes mostradas en este capítulo son las tomadas durante el proceso de construcción de todo el sistema.

5.1.ETAPA DE CALENTAMIENTO.

Para conseguir calentar el agua se construyó un calentador a diesel con un serpentín interno de cobre, el resultado final del calentador se muestra en la figura 5.1.



Figura 5.1 Calentador de agua.

5.1.1. TANQUE DE CALENTAMIENTO.

Se observa en la figura 5.2 el cuerpo interno del tanque de calentamiento el cual fue diseñado en el capítulo 4, cumpliendo con las normas y parámetros especificados en dicho capítulo.



Figura 5.2 Cuerpo interno del tanque de calentamiento.

Dentro de este tanque se localizará el serpentín, el mismo que fue elaborado en tubería de cobre de $\frac{3}{4}$ de pulgada y colocado como se muestra en la figura 5.3.

Para mantener un sistema adiabático se forro el mismo con aislante de lana vídrica y una capa de acero galvanizado, además se acoplo la brida que sostiene el quemador, como se muestra en la figura 5.4.



Figura 5.3 Serpentín del tanque de calentamiento.



Figura 5.4 Forro del tanque de calentamiento.

5.2.ETAPA DE ALMACENAMIENTO Y SENSADAJE.

Con el fin de controlar el volumen y la temperatura adecuada, así como también los tiempos de recirculación se construyó el tanque de almacenamiento, en el cual se

situaron los sensores de temperatura y nivel, obteniendo así el tanque mostrado en la figura 5.5.



Figura 5.5 Tanque de almacenamiento.

Debido a la reacción agresiva que tuvo el ganado al observar la etapa de calentamiento instalada en el área de ordeño se decidió construir un muro de protección que evite que las vacas pateen el calentador y lo averíen en poco tiempo. El muro construido se muestra en la figura 5.6.



Figura 5.6 Muro de protección de la etapa de calentamiento del sistema CIP.

5.3.ETAPA DE DOSIFICACIÓN.

Se colocaron 3 dosificadores, los mismos que funcionan por medio de una microbomba y una electroválvula que permite el paso del reactivo por un tiempo determinado hasta conseguir la cantidad deseada. En la figura 5.7 se muestra la disposición de los elementos del dosificador.

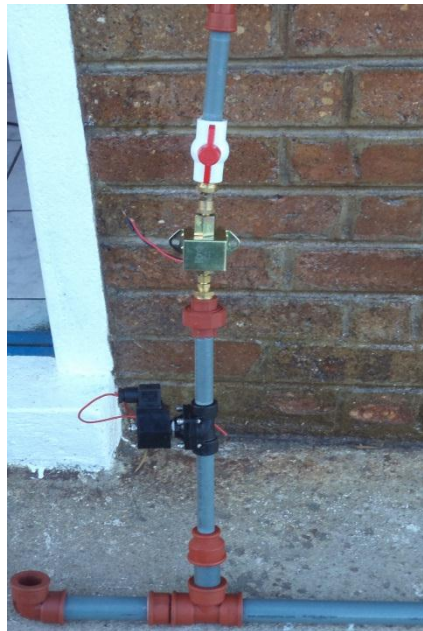


Figura 5.7 Dosificador de reactivo.

Para evitar que el flujo de agua ingrese por el ramal vertical del dosificador, se realizó una modificación en el ramal horizontal de este, en el cual se colocó un nepló de 8 cm de longitud, evitando así que el agua suba y creando a la vez una pequeña succión que ayude a empujar el reactivo dosificado hacia el agua caliente, como se muestra en la figura 5.8.

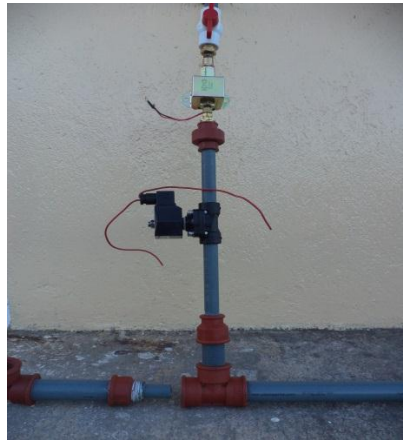


Figura 5.8 Modificación del ramal horizontal del dosificador.

Los tanques de almacenamiento de reactivos, tienen acoplados en su parte inferior un sensor de nivel, tipo flotador, el cual indica la falta de reactivo en cada depósito, impidiendo así que por error se lleve a cabo el lavado del sistema sin reactivos.

La instalación de los tres dosificadores, requirió de una pequeña estructura para el soporte de los tanques contenedores de reactivos, a esta estructura también fueron ancladas las microbombas como se muestra en la figura 5.9.



Figura 5.9 Dosificadores del sistema CIP.

5.4. RECIRCULACIONES EN EL SISTEMA.

El sistema CIP realiza las recirculaciones tanto en el calentamiento como en la descarga por medio de 2 bombas eléctricas como se indica en la figura 5.10, las mismas que impulsan el fluido con la velocidad adecuada a cada área del sistema.



Figura 5.10 Bombas de recirculaciones en el sistema CIP.

5.5.SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL.

Todos los componentes del sistema eléctrico fueron localizados en un gabinete de control de 60x50x20 [cm], en este también se dispuso las señales indicadoras, el control de temperatura y los selectores y pulsadores que controlan el proceso.



Figura 5.11 Disposición de los elementos de control eléctrico.

Se realizó la interfaz humano máquina en la puerta del mismo gabinete, colocando luces indicadoras y todos los elementos que comandan el proceso como son:

- Selector de tipo de limpieza.
- Controlador e indicador de temperatura.
- Pulsador de inicio de limpieza.
- Paro de emergencia.
- Luces indicadoras de nivel bajo de reactivos.
- Luz indicadora de paro de emergencia activado.
- Luces indicadoras de etapa actual de limpieza.

La distribución de la interfaz se muestra en la figura 5.12.



Figura 5.12 Interfaz Humano Máquina del sistema CIP.

El controlador de temperatura se programó con un modo de control ON/OFF, debido a que en el proceso de limpieza la temperatura del agua no necesita ser extremadamente exacta sino más bien localizarse entre un rango de 70°C y 90°C, ya que los detergentes reaccionan de manera adecuada en este rango, se colocó un setpoint de 80°C, con lo cual se asegura que el agua siempre este dentro del margen establecido para realizar una limpieza adecuada.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1.CONCLUSIONES.

- La selección adecuada de componentes permitió optimizar recursos y aumentar la eficiencia del proceso, el uso del diseño recurrente permite la mejora continua de cualquier diseño, disminuye el tiempo de elaboración y permite llegar a resultados óptimos siguiendo una secuencia ordenada de pasos.
- En la industria láctea, el sistema CIP “Clean in Place” o Limpieza in situ, es un sistema de limpieza integro, capaz de eliminar todos los residuos de la producción sin tener que desmontar los accesorios, tuberías, bombas, tanques, y demás complementos que forman parte del proceso de producción para cuidar la calidad higiénica de los productos.
- Se consiguió que el sistema Clean in Place, para seis estaciones de ordeño, cumpla con la norma NTC-5245 “Prácticas de limpieza y desinfección para plantas y equipos utilizados en la industria láctea”. La cual especifica todos los parámetros que debe tomarse en cuenta para realizar una limpieza adecuada.
- La transferencia de calor que se da en la etapa de calentamiento, no necesariamente es igual a la obtenida en los cálculos, ya que existen una diversidad de factores como la altura, la presión, las bajas temperaturas, entre otros factores que existen en la zona en la que está instalado el sistema que a pesar de que fueron controlados y tomados en cuenta en los cálculos de diseño

hacen que se tenga ciertas variaciones, entre la parte teórica y la parte práctica, debido a su comportamiento cíclico a lo largo del tiempo; otro factor influyente en este aspecto es la calidad de la combustión que se genera por parte del quemador de diesel, la misma que jamás podrá ser ideal debido a las pérdidas que existen en las transformaciones de energía, lo que hace que la potencia aportada al sistema no siempre sea exacta o la misma.

- Luego de haber realizado las pruebas de calentamiento se pudo constatar que el volumen requerido de agua para la limpieza se llega a calentar a 80°C en un periodo de entre 4 a 5 minutos, lo que hace que se disminuya el tiempo del proceso de lavado, ya que antes al calentar el agua en una hornilla les tomaba entre 15 y 20 minutos y esta no siempre se encontraba en la temperatura necesaria al momento de lavado, debido a que en su traslado existía pérdida de calor.
- Se consiguió elaborar un dosificador que entregue las cantidades exactas de cada reactivo, 80cm³ de detergente alcalino, 80cm³ de detergente ácido y 160 cm³ de sanitizador según la etapa del proceso de limpieza en la que se encuentra.
- Las bombas seleccionadas, tanto para la recirculación al intercambiador como la de recirculación al sistema de ordeño, entregan el caudal requerido por la norma y cumplen con sus diferentes objetivos, calentar el agua para que la mezcla haga efecto y recircularla en flujo turbulento para una mejor remoción de la piedra de leche.
- Se implementó una HMI de fácil operación en la cual se puede seleccionar el tipo de limpieza que se desea realizar, así como también se puede visualizar en qué etapa de lavado se encuentra.

- Debido al trabajo continuo y la exposición directa que tiene el serpentín a la llama del quemador, se pudo notar a lo largo del periodo de pruebas que la tubería de cobre sufre una deshidratación volviéndose más flexible de lo normal, por lo que se debería analizar la posibilidad de cambiar de material, para próximos diseños.

6.2.RECOMENDACIONES.

- Dada la exposición directa que tiene el serpentín a la llama del quemador, se recomienda para próximos diseños usar un serpentín de acero inoxidable, el mismo que presenta una mayor resistencia a la temperatura. Tomando en consideración que se deberá realizar un nuevo análisis, para la selección de la bomba de recirculación en el calentamiento debido a la diferencia en el coeficiente de rugosidad de la tubería de acero.
- Mejorar las acometidas eléctricas colocándolas dentro de tubería o canaleta, para de esta manera proteger el cableado y la integridad de los operadores.
- Antes de operar el sistema CIP se debe seguir las recomendaciones y procedimientos expuestos en el manual de usuario, para de esta manera lograr un funcionamiento eficiente y sobre todo garantizar la seguridad mientras se encuentra en marcha el sistema.
- La velocidad de los fluidos en el intercambiador de calor debe mantener un flujo turbulento a lo largo del proceso, por lo que se recomienda diseñar los sistemas de calentamiento de manera que se puedan alcanzar las velocidades que permiten esos flujos, ya sea por medio del cambio de la bomba a una de mayor caudal, o

por la reducción de la sección transversal por donde circula el fluido, tomando en cuenta que esta última aumentara las pérdidas de presión a la salida del intercambiador.

- Luego del ordeño y el enfriamiento de la leche, el medio de transporte de la misma debe ser el adecuado, por lo que se recomienda se lo haga únicamente en contenedores o bidones de acero inoxidable, que se encuentren previamente lavados y sanitizados, para evitar la proliferación de bacterias y perder todo el trabajo ganado con la limpieza de la tubería.
- Desmontar una vez al año la tubería de extracción de leche para dar un mantenimiento preventivo, complementando la limpieza ordinaria realizada por el sistema CIP, eliminando de esta manera cualquier riesgo a que se forme la piedra de leche o pueda existir algún tipo de proliferación bacteriana.

BIBLIOGRAFÍA

(n.d.). Retrieved from

http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v1/322250001_1/Electromagnetic-font-b-pump-b-font-for-combine-harvester-YANMAR-KUBOTA-12V.jpg

(19, 06 2014). Retrieved from CONRAD:

<http://www.conrad.com/ce/en/product/197494/Siemens-6ES7214-1HG31-0XB0-SIMATIC-S7-1200-CPU-1214C-Compact-CPU-DCDCRelay-14-DI-10-DO-2-AI-50Kb>

(2013). Retrieved 01 13, 2013, from Directorio Electrónico Ecuatoriano:

www.direcuador.com

(2014, Junio 6). Retrieved from

http://www.piecechaudiere.com/media/catalog/category/dela_2.jpg

Aceros Arequipa. (n.d.). *Catalogo de Productos*. Arequipa.

Arian. (n.d.). *Nota2: Que son y como funcionan las termocuplas*. Santiago.

Bahamondes, P. A., & Dümmer, W. O. (n.d.). *Potencia y Rendimiento de la Caldera*.

Asociación Chilena de Seguridad (ACHS).

BURNERS, R. (2014). *ONE STAGE LIGHT OIL BURNERS*. Legnago: ICIM.

Cálculo de chimeneas. (n.d.). Retrieved from

campusvirtual.edu.uy/.../CALCULO%20DE%20CHIM

Camsco Electric Co. Ltd. (n.d.). Retrieved from

<http://www.camsco.com.tw/floatless-level-control/P46.html#>

Carmona, M., Acosta, A., & Tibaquirá, J. (2003). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN QUEMADOR EXPERIMENTAL DE ACPM DE ALTA PRESION TIPO CAÑON. *Scientia et Technica*, 69-74.

- Carnetec*. (2012). Retrieved 01 12, 2013, from <http://www.carnetec.com>
- Celis, M., & Juárez, D. (2009). *Microbiología de la leche*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Cengel, Y. A. (2004). Transferencia de Calor. En Y. A. Cengel, *Transferencia de Calor* (pág. 730). Nevada: Mc Graw Hill.
- Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía. (2009, Octubre). Retrieved from Secretaría de Energía de los Estados Unidos Mexicanos: <http://www.conuee.gob.mx>
- Corporación Eléctrica Lima. (2014, Junio 6). *Corporación Eléctrica Lima*. Retrieved from <http://www.corporacionelectricalima.com/web/tablerocontroldemotoresbtmt.html>
- Coto Technology. (2006). *Horizontal Liquid Level Sensor*.
- DANFOSS. (2014, Junio 6). *Danfoss*. Retrieved from http://es.he.professional.danfoss.com/PresentationFiles/1698_Boquilla%20de%20pulverizacion%20OD.pdf
- DANFOSS. (2014, Junio 6). *Danfoss España*. Retrieved from <http://www.danfoss.com/Spain/Products/Categories/Detail/HE/Componentes-para-quemador/Boquillas-de-pulverizacion/OD/030B0114/d32f8c31-dc28-484f-acb9-ec10d5405a94/462aa88f-8ab1-4c01-86f7-41e42d7d4f05.html>
- De la Vega, A. (2005). Leche de calidad higiénica y sanitaria adecuada. *Facultad de Agronomía y Zootecnia*, 1-2.
- Decreto Ejecutivo. (2002). *Reglameto de buenas practicas para alimentos procesados*. Quito: Decreto ejecutivo 3253, Registro oficial.

- Departamento de Ingeniería Química de la universidad de Castilla. (n.d.). *Diseño de Chimeneas*. Ciudad Real: Universidad de Castilla la Mancha.
- Fluke. (2014, Junio 07). Retrieved from Fluke:
<http://www.fluke.com/fluke/eces/thermometers/fluke-568-566.htm?PID=56090>
- Fuji Electric Systems Co., Ltd. (2010). *Micro Controller PXR*. Japón.
- Incropera, F. P., & De Witt, D. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. In F. Incropera, & D. De Witt, *Fundamentos de Transferencia de Calor* (p. 8). Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- INEN. (1998). *Uso e instalacion de calentadores de agua a gas de paso continuo y acumulativo*. Quito: INEN.
- INGE-CAP LTDA. (n.d.). *Normas de Diseño*.
- Ingemecánica*. (n.d.). Retrieved from Cálculo de Instalaciones de Bombeo de Agua:
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html#anexos2>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (INCOTEC). (2004). *PRÁCTICAS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN PARA PLANTAS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA LACTEA (NTC 5245)*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (INCOTEC).
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (n.d.). *Centro Regional de Investigación*. Remehue.
- LSIS. (2014). *Interruptores y contactores en baja tensión*. Lima.
- Martínez, R. (n.d.). *Consideraciones acerca del diseño de chimeneas*. Área de cálculo, diseño y construcción.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Neoquim Cia. Ltda. (n.d.). *Detergente Ridstone Alka*.

Pedrollo. (n.d.). *Catalogo General 60Hz*.

Puleva Salud. (n.d.). *Puleva Salud*. Retrieved from

http://www.pulevasalud.com/ps/contenido.jsp?ID=7737&TIPO_CONTENIDO=Articulo&ID_CATEGORIA=222&ABRIR_SECCION=2&RUTA=1-2-47-222

REPSOL Refineria La Pampilla. (2014, Junio 06). *FICHA DE DATOS DE*

SEGURIDAD. Retrieved from REPSOL:

https://imagenes.repsol.com/pe_es/g84%20010607_tcm18-422402.pdf

Santana, R., & Uribe, C. (2006). RUTINA DE ORDEÑA Y CALIDAD HIGIÉNICA DE LA LECHE. 1-2.

Secretaria de Energía. (2007). *Eficiencia en Calderas y Combustión*. Mexico D.F.

Serth, R. W., & Lestina, T. G. (n.d.). *Proceso de Transferencia de Calor: principios, aplicaciones y reglas generales*. Book Aid International.

Siemens. (2014, Junio 6). *Siemens*. Retrieved from Siemens:

<http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/Pages/Default.aspx>

Siemens AG. (2009). *SIMATIC S7-1200, microcontrolador para Totally Integrated Automation*.

Ursa Glasswool. (n.d.). *URSA*. Retrieved from <http://www.ursa.es/>

Velásquez Ingenieros Asociados. (n.d.). *Velásquez Ingenieros Asociados*. Retrieved from http://www.velasquez.com.co/paginas/rele_de_nivel.htm

Vidri. (2014, Junio 6). Retrieved from <https://www.vidri.com.sv/producto/65553>

Villalba, D. A. (2012, Julio 11). *Scribd*. Retrieved from Scribd:

<http://www.scribd.com/doc/99802321/Sistema-Cip>