



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS
APLICADAS**

INGENIERÍA MECATRÓNICA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LECHE Y RED DE
TUBERÍAS CON AUTOMATIZACIÓN PARA EL TRANSPORTE Y
LIMPIEZA DE TRES SILOS EN LA HOLANDESA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA.**

CARLOS ENRIQUE MUÑOZ SALTOS

DIRECTOR: ING. LUIS XAVIER SÁNCHEZ SIGÜENZA, MBA

D.M. Quito,

2018

DECLARACIÓN

Yo, CARLOS ENRIQUE MUÑOZ SALTOS, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado, o calificación profesional; y, que he investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

CARLOS ENRIQUE MUÑOZ SALTOS

C.I. 1312526146

CERTIFICACIÓN

El docente de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas Ingeniero Luis Xavier Sánchez Sigüenza MBA.

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación denominado “Rediseño del sistema de captación de leche y red de tuberías con automatización para el transporte y limpieza de tres silos en La Holandesa”, fue desarrollado por el Sr Carlos Enrique Muñoz Saltos, ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

Ing. Luis Xavier Sánchez Sigüenza

C.I 0301269940

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres Hugo Muñoz y Janet Saltos quienes han sido un gran ejemplo de perseverancia para brindarme una educación de calidad y apoyarme de manera incondicional en mis decisiones y metas propuestas.

A mi hermana Andrea Muñoz que siempre me ha brindado su apoyo en todo momento y por ser ejemplo de profesionalismo.

A toda mi familia de Manta y Quito por estar pendientes y ayudarme ante toda circunstancia.

Agradezco a Diego Escudero, Marco Cevallos y todo el personal de La Holandesa que me dieron su apoyo y total confianza durante toda la ejecución del proyecto de titulación.

A todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y experiencias durante mis años de estudio.

A mi tutor Ingeniero Xavier Sánchez quien me aconsejó con su experiencia y conocimiento para desarrollar de manera correcta el proyecto de titulación.

A mis lectores los Ingenieros Richard y Cristina quienes me han guiado y brindado sus recomendaciones durante el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES.....	1
1 TEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4 HIPÓTESIS	2
1.5 RECEPCIÓN DE LECHE	2
1.5.1 MEDICIÓN POR VOLUMEN	2
1.5.2 MEDICIÓN POR PESO	3
1.6 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE LECHE	4
1.6.1 MANGUERAS PARA SUCCIÓN DE LECHE.....	4
1.6.1.1 MANGUERA SERIE MILK	4
1.6.1.2 MANGUERA SERIE FT	5
1.7 ELIMINADORES DE AIRE	6
1.7.1 BOMBAS	6
1.7.1.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS	7
1.7.1.2 BOMBAS VOLUMÉTRICAS.....	7
1.7.1.3 BOMBAS DE CANAL LATERAL	8
1.7.2 FILTROS	8
1.7.3 CAUDALÍMETROS.....	8
1.7.3.1 CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICOS.....	9

1.8	ALMACENAMIENTO DE LECHE CRUDA	9
1.8.1	AGITACIÓN EN SILOS	9
1.9	LIMPIEZA CIP EN LA INDUSTRIA LÁCTEA	10
1.9.1	CIRCUITOS CIP	11
1.9.2	CRITERIOS PARA DISEÑO CIP	11
1.9.2.1	ELECCIÓN DE SOLUCIONES O QUÍMICOS.....	11
1.9.2.2	TIEMPO DE CIRCULACIÓN.....	12
1.9.2.3	VELOCIDAD DE FLUJO	12
1.9.2.4	LIMPIEZA DE TANQUES O SILOS	12
1.9.3	PROGRAMAS CIP	14
1.9.4	GRADO DE SOLUBILIDAD DE DEPÓSITOS DE SUCIEDAD.....	14
1.10	AUTOMATIZACIÓN.....	15
1.10.1	TIPOS DE CONTROL.....	16
1.10.2	ACTUADORES	16
1.10.2.1	VÁLVULAS.....	16
1.10.3	SENSORES	18
1.10.3.1	SENSORES DE NIVEL	18
1.10.3.2	SENSORES DE TEMPERATURA.....	20
	CAPÍTULO II	21
	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	21
2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	21
2.1	VOZ DEL USUARIO.....	21
2.1.1	VOZ DEL INGENIERO	21
2.2	CASA DE LA CALIDAD.....	22
2.3	FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	22

2.4	DISEÑO CONCEPTUAL	24
2.4.1	ESTRUCTURA FUNCIONAL.....	24
2.4.2	NIVEL 0: FUNCIÓN GLOBAL.....	24
2.4.3	NIVEL 1: MÓDULOS PARA EL FLUJO DE LECHE AUTOMATIZADA.....	24
2.4.4	NIVEL 2: MÓDULOS PARA EL SISTEMA DE LAVADO AUTOMATIZADO.....	25
2.5	DEFINICIÓN DE LOS MÓDULOS FUNCIONALES	26
2.5.1	NIVEL 1: MÓDULO DE CONTROL	26
2.5.2	NIVEL 1: MÓDULO DE RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LECHE.....	27
2.5.3	NIVEL 1: MÓDULO DESCARGA DE LECHE.....	27
2.5.4	NIVEL 1: MÓDULO SISTEMA DE LAVADO	27
2.5.4.1	NIVEL 2: MÓDULO DE CONTROL.....	27
2.5.4.2	NIVEL 2: MÓDULO SILOS PARA LIMPIEZA.....	27
2.5.4.3	NIVEL 2: MÓDULO LIMPIEZA DE SILOS	28
2.5.4.4	NIVEL 2: MÓDULO DE RETORNO	28
2.6	ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCIÓN DE CADA MÓDULO	28
2.6.1	SOLUCIÓN MÓDULO 1: CONTROL.....	28
2.6.1.1	SELECCIONAR PROCESOS	28
2.6.1.2	CONTROLAR PROCESOS	29
2.6.1.3	PERMITIR PASO DE LECHE A SILOS, PRODUCCIÓN Y PASO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA.....	30
2.6.1.4	MEDIR NIVEL	31
2.7	MATRIZ MORFOLÓGICA	32
2.8	MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS.....	33

2.8.1	EVALUACIÓN DEL CRITERIO AUTOMATIZACIÓN CON LAS ALTERNATIVAS	34
2.8.2	EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE BAJO COSTO CON LAS ALTERNATIVAS	35
2.8.3	EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE MANTENIBILIDAD CON LAS ALTERNATIVAS	35
2.8.4	EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE CONSUMO ENERGÉTICO CON LAS ALTERNATIVAS.....	35
2.9	ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA A IMPLEMENTAR.....	36
CAPÍTULO III		37
DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA RED DE TUBERÍAS Y DIMENSIONAMIENTO DE BOMBAS		37
3	DISEÑO MECÁNICO	37
3.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILO UNO.....	40
3.1.1	NÚMERO DE REYNOLDS	40
3.1.2	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TRAMOS DE TUBERÍA PARA SILO UNO	45
3.1.3	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS SILO UNO.....	48
3.1.3.1	PÉRDIDAS DE CARGA EN VÁLVULAS DE MARIPOSA.....	49
3.1.3.2	PÉRDIDAS DE CARGA EN CODOS Y TUBERÍAS EN T.....	49
3.1.4	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL SILO UNO.....	51
3.2	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILO DOS.....	54

3.2.1	CÁLCULO PÉRDIDAS DE CARGA EN TRAMOS DE TUBERÍAS PARA SILO DOS	55
3.2.2	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS SILO DOS.....	55
3.2.3	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL SILO DOS.....	56
3.3	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILO TRES	57
3.3.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS SILO TRES.....	57
3.3.2	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL SILO TRES.....	58
3.4	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP EN SILO UNO	59
3.4.1	NÚMERO DE REYNOLDS Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN	60
3.4.2	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA EL RETORNO CIP DEL SILO UNO	61
3.4.3	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA EL RETORNO CIP DEL SILO UNO	62
3.4.4	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP SILO UNO	62
3.5	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA EL RETORNO CIP DEL SILO DOS	63
3.5.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA EL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS	64
3.5.2	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL RETORNO CIP SILO DOS	64

3.5.3	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA EL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES	65
3.5.4	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA EL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES.....	65
3.5.5	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP SILO TRES.....	66
3.6	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO UNO	67
3.6.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO UNO	67
3.6.2	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DE LA LIMPIEZA CIP DEL SILO UNO.....	68
3.7	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS.....	72
3.7.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS	73
3.7.2	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DE LA LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS.....	73
3.8	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES.....	74
3.8.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES.....	75
3.8.2	POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DE LA LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES	75
3.9	SELECCIÓN DE BOMBAS	76
3.10	SELECCIÓN DE ARRANQUE DE BOMBAS, ELEMENTOS DE CONTROL Y FUENTES DE ALIMENTACIÓN	77
3.10.1	ARRANQUE DE BOMBAS.....	77

3.10.2	TABLEROS DE CONTROL.....	80
3.10.2.1	TABLERO PRINCIPAL: MANDO DE CONTROL.....	80
3.10.2.2	MÓDULO DE CONTROL PLC Y SISTEMA DE VISUALIZACIÓN HMI.....	80
3.10.2.3	MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES.....	81
3.10.2.4	MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES.....	83
3.10.2.5	MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS.....	85
3.10.2.6	SWITCH INDUSTRIAL ETHERNET.....	86
3.10.2.7	FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL TABLERO PRINCIPAL.....	87
3.10.3	TABLERO SECUNDARIO: PERIFERIA DESCENTRALIZADO.....	89
3.10.3.1	PERIFERIA DESCENTRALIZADA.....	89
3.10.3.2	MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES.....	90
3.10.3.3	MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS.....	90
3.10.3.4	FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL TABLERO PRINCIPAL.....	91
3.11	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	92
3.11.1	ALGORITMO GENERAL DE SELECCIÓN DE PROCESOS.....	92
3.11.2	ALGORITMO PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILOS.....	93
3.11.2.1	ALGORITMO PARA SELECCIÓN DE LLENADO DEL SILO UNO.....	94
3.11.2.2	ALGORITMO PARA SELECCIÓN DE LLENADO DEL SILO DOS.....	97
3.11.2.3	ALGORITMO PARA SELECCIÓN DE LLENADO DEL SILO TRES.....	99
3.11.3	ALGORITMO PARA EL ENVÍO DE LECHE A PRODUCCIÓN....	101
3.11.3.1	ALGORITMO PARA EL ENVÍO DE LECHE A PRODUCCIÓN DESDE EL SILO UNO.....	101

3.11.3.2	ALGORITMO PARA EL ENVÍO DE LECHE A PRODUCCIÓN DESDE EL SILO DOS.....	103
3.11.3.3	ALGORITMO PARA EL ENVÍO DE LECHE A PRODUCCIÓN DESDE EL SILO TRES	105
3.11.4	ALGORITMO DE LIMPIEZA CIP PARA SILOS DE ALMACENAMIENTO.....	107
3.11.4.1	ALGORITMO PARA LIMPIEZA CIP DEL SILO UNO	108
3.11.4.2	ALGORITMO PARA LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS	112
3.11.4.3	ALGORITMO PARA LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES	116
3.11.4.4	ALGORITMO PARA LIMPIEZA CIP DE TANQUEROS	120
3.11.4.5	ALGORITMO PARA LIMPIEZA DE LA TUBERÍA DE LECHE .	124
CAPÍTULO IV	128
CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS	128
4	CONSTRUCCIÓN DE TRAMOS DE TUBERÍAS.....	128
4.1	ARMADO DE LOS TRAMOS DE TUBERÍAS CON VÁLVULAS DE CONTROL	129
4.1.1	PROCESO DE SOLDADURA DE LAS TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE.....	130
4.2	IMPLEMENTACIÓN DE TRAMOS DE TUBERÍAS Y REUBICACIÓN DEL SILO DE 20000 L.....	130
4.3	UBICACIÓN DEL SEGUNDO SILO DE 50000 L	133
4.4	PRUEBAS Y RESULTADOS	135
4.4.1	PRUEBA DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y RETORNO CIP SILO UNO.....	135
4.4.1.1	PRUEBA DE URL DE LA LIMPIEZA Y RETORNO CIP DEL SILO UNO.....	136

4.4.2 PRUEBA DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y RETORNO CIP SILO TRES.....	138
4.4.2.1 PRUEBA DE URL DE LA LIMPIEZA Y RETORNO CIP DEL SILO TRES.....	139
4.4.3 PRUEBA DEL PROCESO DE LIMPIEZA DE LA TUBERÍA DE LECHE.....	140
4.4.4 PRUEBA DEL PROCESO DE LLENADO SILO UNO	140
4.4.5 PRUEBA DEL PROCESO DE LLENADO SILO TRES.....	141
4.5 CÁLCULO DE COSTOS	142
CONCLUSIONES.....	145
RECOMENDACIONES	147
BIBLIOGRAFÍA	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Medición por volumen.....	3
Figura 2.	Método de medición mediante celdas de carga.....	4
Figura 3.	Manguera Serie MILK.....	5
Figura 4.	Manguera Serie FT.....	5
Figura 5.	Eliminador de aire "AE".....	6
Figura 6.	Bomba centrífuga.....	7
Figura 7.	Bomba volumétrica lobular rotativa HLR.....	7
Figura 8.	Bomba de canal lateral ASPIR.....	8
Figura 9.	Filtros.....	8
Figura 10.	Caudalímetro electromagnético.....	9
Figura 11.	Agitación en silos de almacenamiento.....	10
Fuente: Handbook Milk and Dairy products.....		10
Figura 12.	Aspersor especial para limpieza de silos.....	11
Figura 13.	Aspersor de bola.....	13
Figura 14.	Aspersor rotativo.....	13
Figura 15.	Aspersor rotativo.....	14
Figura 16.	Válvula con actuador eléctrico.....	17
Figura 17.	Cabezal C-TOP+.....	17
Figura 18.	Sensor ultrasónico F65.....	19
Figura 19.	Sensor de nivel capacitivo.....	19
Figura 20.	Transmisor de nivel ES2.....	20
Figura 21.	Sensor de temperatura tipo sonda.....	20
Figura 22.	Nivel 0: Función global.....	24

Figura 23.	Nivel 1: Módulos para el flujo de leche automatizada	25
Figura 24.	Nivel 2: Módulos para el sistema de lavado automatizado	26
Figura 25.	Tablero eléctrico	29
Figura 26.	HMI	29
Figura 27.	Siemens S7-300	30
Figura 28.	Controlador Festo CECC	30
Figura 29.	Válvula de mariposa con accionamiento neumático	31
Figura 30.	Válvula de mariposa con accionamiento eléctrico	31
Figura 31.	Sensor de nivel ultrasónico.....	31
Figura 32.	Sensor de nivel sumergible capacitivo.....	32
Figura 33.	Transmisor de nivel es2.....	32
Figura 34.	Matriz morfológica	32
Figura 35.	Sistema de silos y bombeo de leche y sustancias CIP	37
Figura 36.	Sistema de almacenaje de leche y retorno de sustancias CIP	37
Figura 37.	Sistema de tres silos con nueva red de tuberías	39
Figura 38.	Diagrama de Moody	44
Figura 39.	Coeficiente K de una válvula de mariposa.....	49
Figura 40.	Red de tubería para la ecuación de la energía.....	52
Figura 41.	Tuberías paralelas en la limpieza CIP de los silos.....	68
Figura 42.	Esquema arranque directo	78
Figura 43.	Arranque estrella – triángulo.....	79
Figura 44.	Arrancador Suave.....	80
Figura 45.	PLC S7-1500, CPU 1511-1PN.....	81
Figura 46.	HMI KTP900 PN Basic	81
Figura 47.	Bornera para la asignación de contactos.....	82

Figura 48.	Módulo de 32 entradas digitales	83
Figura 49.	Relé Finder	85
Figura 50.	Módulo de 8 entradas analógicas	86
Figura 51.	Conexiones Ethernet	86
Figura 52.	Switch Industrial Scalance X005.....	87
Figura 53.	Fuente SITOP.....	88
Figura 54.	Periferia descentralizada M1555-5 PN BA	89
Figura 55.	Diagrama de Flujo de Selección de procesos	92
Figura 56.	Distribución de silos, líneas de procesos y válvulas	93
Figura 57.	Diagrama de flujo selección de llenado silo uno	96
Figura 58.	Diagrama de flujo selección de llenado silo dos	98
Figura 59.	Diagrama de flujo selección de llenado silo tres	100
Figura 60.	Diagrama de flujo de envío de producción desde silo uno	103
Figura 61.	Diagrama de flujo de envío de producción desde silo dos.....	105
Figura 62.	Diagrama de flujo de envío de producción desde silo tres	107
Figura 63.	Silos de almacenamientos sustancias CIP, distribución de tuberías y válvulas	108
Figura 64.	Diagrama de flujo de la limpieza CIP del silo uno.....	112
Figura 65.	Diagrama de flujo de la limpieza CIP del silo dos.....	116
Figura 66.	Diagrama de flujo de la limpieza CIP del silo tres.....	120
Figura 67.	Limpieza CIP tanqueros	123
Figura 68.	Limpieza CIP tubería de leche.....	127
Figura 69.	Diagrama de construcción de los tramos de tuberías.....	128
Figura 70.	Armado de tramos de tuberías con válvulas de control	129
Figura 71.	Armado de tramos de tuberías con válvulas de control	130

Figura 72.	Reubicación silo 20000 L (izquierda)	131
Figura 73.	Conexión de tuberías y válvulas al silo de 50000 L	132
Figura 74.	Conexión de tuberías y válvulas al silo de 20000 L	132
Figura 75.	Nuevo Silo de 50000 L	133
Figura 76.	Comienzo de la ubicación del silo de 50000 L	133
Figura 77.	Levantamiento del silo de 50000 L para su ubicación	134
Figura 78.	Ubicación final del nuevo silo de 50000 L	135
Figura 79.	Sistema de teléfono anteriormente instalado para limpieza CIP	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Características técnicas de la manguera Serie MILK	5
Tabla 1.2	Características técnicas de la manguera Serie FT	6
Tabla 1.3	Grado de solubilidad entre depósitos de suciedad y sustancias CIP	15
Tabla 2.1	Especificaciones técnicas.....	23
Tabla 2.2	Alternativas para la función seleccionar procesos.....	29
Tabla 2.3	Alternativas para controlar procesos	30
Tabla 2.4	Alternativas para el paso de fluidos hacia los silos	31
Tabla 2.5	Alternativas para medición de nivel.....	31
Tabla 2.6	Alternativas.....	33
Tabla 2.7	Evaluación de los pesos de cada criterio	34
Tabla 2.8	Evaluación del criterio automatización con cada alternativa	35
Tabla 2.9	Evaluación del criterio de bajo costo con cada alternativa	35
Tabla 2.10	Evaluación del criterio de mantenibilidad con cada alternativa ...	35
Tabla 2.11	Evaluación del criterio de consumo energético con las alternativas.....	35
Tabla 2.12	Prioridades	36
Tabla 2.13	Alternativa 5	36
Tabla 3.1	Longitud de tuberías para el almacenaje de leche en el silo uno.	41
Tabla 3.2	Diámetros y velocidades	42
Tabla 3.3	Número de Reynolds y tipo de flujo	43
Tabla 3.4	Longitud de tuberías para el almacenaje de leche en el silo dos	54
Tabla 3.5	Pérdidas de carga en los tramos de tuberías para silo dos	55
Tabla 3.6	Pérdidas de carga en accesorios para silo dos.....	56
Tabla 3.7	Pérdidas de carga en los tramos de cargo para el silo tres	57

Tabla 3.8	Pérdidas de carga en accesorios para silo tres.....	58
Tabla 3.9	Pérdidas totales y potencias de bomba para cada silo	59
Tabla 3.10	Datos de trabajo de las sustancias CIP	60
Tabla 3.11	Número de Reynolds y tipo de flujo	61
Tabla 3.12	Pérdidas de carga en los tramos de retorno CIP para el silo uno	61
Tabla 3.13	Pérdidas de carga en accesorios para retorno CIP del silo uno..	62
Tabla 3.14	Pérdidas de carga en los tramos de retorno CIP para el silo dos	63
Tabla 3.15	Pérdidas de carga en accesorios para retorno CIP del silo dos..	64
Tabla 3.16	Pérdidas de carga en los tramos de retorno CIP para el silo tres	65
Tabla 3.17	Pérdidas de carga en accesorios para retorno CIP del silo tres..	65
Tabla 3.18	Pérdidas totales y potencias de bomba para cada silo	66
Tabla 3.19	Pérdidas de carga en tramos de tuberías para limpieza CIP del silo uno.....	67
Tabla 3.20	Pérdidas de carga en accesorios para limpieza CIP del silo uno	67
Tabla 3.21	Pérdidas de carga en tramos de tuberías para limpieza CIP del silo dos.....	72
Tabla 3.22	Pérdidas de carga en accesorios para limpieza CIP del silo dos	73
Tabla 3.23	Pérdidas de carga en tramos de tuberías para limpieza CIP del silo tres.....	74
Tabla 3.24	Pérdidas de carga en accesorios para limpieza CIP del silo tres	75
Tabla 3.25	Pérdidas totales y potencias de bomba para cada silo	76
Tabla 3.26	Datos de las bombas calculadas y seleccionadas	76
Tabla 3.27	Potencias de bombas y arrancadores suaves.....	79
Tabla 3.28	Número de válvulas y entradas digitales.....	82

Tabla 3.29	Características eléctricas de actuadores y componentes eléctricos.....	83
Tabla 3.30	Número de válvulas y entradas digitales.....	84
Tabla 3.31	Características Módulo de salidas digitales	84
Tabla 3.32	Sensores y señales de control	85
Tabla 3.33	Voltaje y corriente de cada dispositivo	87
Tabla 3.34	Sensores y señales de control	90
Tabla 3.35	Sensores y señales de control	91
Tabla 3.36	Voltaje y corriente de cada dispositivo	91
Tabla 4.1	Resultados para el proceso de limpieza y retorno CIP silo uno.....	136
Tabla 4.2	Indicadores URL limpieza CIP silos	137
Tabla 4.3	Pruebas de URL en silo de 50000 L	137
Tabla 4.4	Resultados para el proceso de limpieza y retorno CIP silo tres.....	138
Tabla 4.5	Pruebas de URL en silo de 20000 L	139
Tabla 4.6	Resultados para el proceso de limpieza y retorno CIP silo uno.....	140
Tabla 4.7	Resultados para el proceso de llenado silo uno.....	141
Tabla 4.8	Resultados para el proceso de llenado silo tres.....	141
Tabla 4.9	Costo material de control	142
Tabla 4.10	Costos Componentes Gabinete Principal y Secundario.....	142
Tabla 4.11	Costo de tuberías, mano de obra y accesorios	143
Tabla 4.12	Costos válvulas, bombas y silo 50000 L	143
Tabla 4.13	Costo Total del Proyecto	144

ABREVIATURAS

CIP	Cleaning in place
HMI	Interfaz Hombre Máquina
URL	Unidades de relativas de luz
m	metro
mm	milímetro
PLC	Computador Lógico Programable
Nr	Número de Reynolds
v	velocidad
Di	Diámetro interno
ρ	Densidad
γ	Peso específico
ε	Rugosidad absoluta
η	Viscosidad dinámica
Q	Caudal
A	Área
l	Litros
h	Hora
s	Segundos
f	Coefficiente de fricción
L	Longitud

g	Gravedad
hl	Pérdida de energía
k	Coeficiente de resistencia
Z	Carga de elevación
P	Presión
ha	Energía que se agrega al fluido
hr	Energía que se remueve del fluido
Ht	Pérdidas de carga
Pa	Potencia que se agrega al fluido
em	Eficiencia mecánica
Hp	Caballos de fuerza
Pi	Potencia de ingreso
Kw	Kilovatios

RESUMEN

Se presenta el diseño y construcción de las nuevas redes de tuberías para tres silos y automatización de estas redes para las distintas operaciones realizadas por la empresa “La Holandesa”. Estas nuevas tuberías y la implementación de las válvulas neumáticas permiten realizar las operaciones de limpieza y retorno CIP y llenado de leche en los silos de manera simultánea agilizando estos procesos.

El diseño de las tuberías se calculó teniendo en cuenta el caudal determinado por la empresa de 30000 L/h con tuberías de 2” de diámetros, determinando las nuevas potencias de las bombas para vencer todas las pérdidas de energía en todos los tramos de tuberías y accesorios.

El PLC permite leer los estados de las válvulas y controlar las válvulas dependiendo de los procesos que se quieran realizar. El HMI permite la selección de la operación que se desea ejecutar como también la observación de los estados, abiertos o cerrados de todas las válvulas.

ABSTRACT

The design and construction of the new pipe networks for three silos and automation of these networks for the different operations carried out by the company "La Holandesa" is presented. These new pipelines and the implementation of pneumatic valves allow the CIP cleaning and return operations and milk filling in the silos simultaneously to streamline these processes.

The design of the pipes was calculated taking into account the flow determined by the company of 30000 L / h with pipes of diameters of 2 ", determining the new powers of the pumps to overcome all the energy losses in all the pipe sections and accessories.

The PLC allows to read the states of the valves and control the valves depending on the processes to be performed. The HMI allows the selection of the operation to be executed as well as the open or closed states of all the valves.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la industria láctea produce cuatro millones de litros diarios de leche lo cual representa un gran aporte al sector económico del país. Las empresas en Ecuador cuya producción están sobre o igual a los cien mil litros de leche diarios cuentan con sus procesos totalmente automatizados.

Existen empresas lácteas con menor capacidad de producción en el Ecuador cuyos procesos son manuales o semi-manuales por falta de capital o por falta de conocimiento de equipos para la automatización de sus procesos.

Conforme estas empresas crecen deben al mismo tiempo adquirir nuevas maquinarias, actuadores, bombas, rediseñar sus instalaciones, y realizar una transición desde procesos manuales a automatizar sus procesos. Esta transición es lo que se propone desarrollar en este proyecto de investigación, el cual tiene como objetivo diseñar una nueva red de tuberías para la implementación de tres silos para aumentar la capacidad de recepción de leche y producción como también agilizar los procesos ejecutados de manera simultánea.

En el Capítulo I se presentan los objetivos del proyecto, se explica los diferentes procesos de recepción de leche, procesos de limpieza CIP, actuadores, sensores y automatización.

En el Capítulo II se presenta la mejor alternativa para el diseño y construcción del proyecto. Se obtienen los requerimientos del proyecto mediante la voz del usuario y la del ingeniero, los diferentes niveles del proyecto mediante el diseño conceptual y la mejor solución mediante el método de criterios ponderados.

En el Capítulo III se detalla y se muestra los pasos realizados para el diseño de la nueva red de tuberías, cálculo de las nuevas potencias de las bombas, selección de arranque de las bombas, descripción y selección de los componentes para la automatización del proyecto.

En el Capítulo IV se muestran las diferentes pruebas y resultados para validar lo realizado en los anteriores capítulos y determinar el funcionamiento real del proyecto una vez implementado.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1 TEMA

Rediseño del sistema de captación de leche y red de tuberías con automatización para el transporte y limpieza de tres silos en la Holandesa.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de captación mide el flujo de leche mediante un medidor que llega desde el tanquero hasta el almacenaje en silos, y en dicha ubicación actualmente se genera una variación en su medida por lo que con el rediseño y reubicación se busca mejorar el funcionamiento del medidor para obtener una mejora en la medición del flujo de leche.

El proceso del transporte y limpieza se realiza mediante la apertura y cierre de válvulas, así como el cambio de dirección por un sistema denominado "teléfono" en la parte superior para la selección de un silo para almacenaje o limpieza CIP y otro "teléfono" en la parte inferior de silo para el transporte a producción, todo esto es realizado por un operador. Con la automatización de la red de tuberías se busca tener un proceso de transporte y limpieza más controlado y con mayor fluidez y así realizar los tres procesos simultáneamente.

1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿El rediseño y reubicación del sistema de captación de leche permitirá una mejor medición por parte del medidor de flujo?

¿La automatización de la red de tuberías permitirá que el proceso de almacenaje y limpieza de silos sea simultánea?

¿La automatización de la red de tuberías reducirá los tiempos entre el intercambio de los silos para el almacenaje y la limpieza?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Rediseñar el sistema de captación de leche y red de tuberías con automatización para el transporte y limpiezas de tres silos en la Holandesa.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar y documentar información de sistemas de captación de leche, lavado de silos.
- Rediseñar y reubicar el sistema de captación de leche.
- Diseñar la red de tuberías para la implementación de un tercer silo.
- Diseñar la red de tuberías en función de la capacidad requerida.
- Diseñar el sistema de control de válvulas para el transporte de leche y limpieza de silos mediante un PLC.
- Determinar y mostrar en tiempo real el volumen de leche en litros mediante sensores de nivel y mostrarlos en una HMI.

1.4 HIPÓTESIS

El rediseño del sistema de captación de leche permitirá obtener una mejor lectura del flujo de leche que está pasando desde el tanquero hasta los silos de almacenaje. La implementación de un tercer silo permitirá aumentar la capacidad de leche almacenada y de producción. Y con la automatización de la red de tuberías se controlará de mejor manera los procesos de almacenaje y limpieza de todo el sistema de transporte de leche, así como de los silos.

1.5 RECEPCIÓN DE LECHE

El proceso de recepción comienza cuando se succiona la leche almacenada en un tanquero y es descargada a los silos de almacenamiento. La leche debe ser medida por su volumen o peso.

1.5.1 MEDICIÓN POR VOLUMEN

La medición de volumen utiliza un caudalímetro o flujómetro para determinar cuánto flujo volumétrico está pasando por la tubería, así como, cuanto aire existe en el fluido.

Esto se previene con un eliminador de aire colocado antes del flujometro como se observa en la Figura 1 [1].

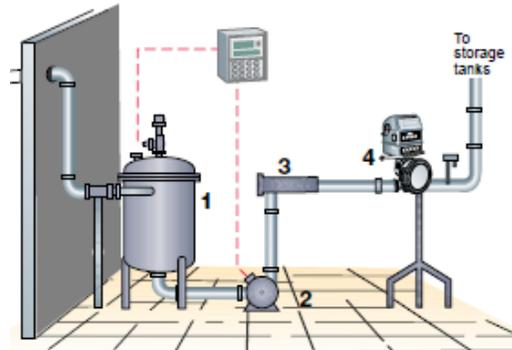


Figura 1. Medición por volumen
Fuente: Handbook Milk and Dairy products [2]

Dónde:

1. Eliminador de aire
2. Bomba
3. Filtro
4. Dispositivo de medición

1.5.2 MEDICIÓN POR PESO

La medición por peso se realiza mediante el pesaje del tanquero antes y después del almacenaje de leche en dicho tanque, seguido de la resta de los dos valores para conocer la cantidad de leche que se transporta [3].

Otro método es el uso de celdas de carga colocadas en los soportes de silos de almacenamiento como se observa en la Figura 2.

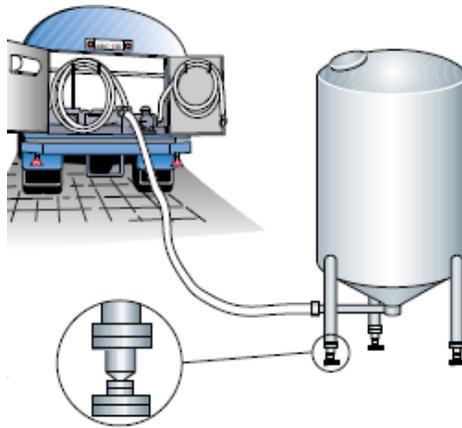


Figura 2. Método de medición mediante celdas de carga
Fuente: Handbook Milk and Dairy products [4]

Los tanqueros deben ser limpiados después de finalizar con la recepción de leche, puede ser realizado en el mismo lugar mediante limpieza CIP o ser llevados a otro lugar donde se realiza su respectiva limpieza.

1.6 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE LECHE

Los sistemas de captación de leche tienen la función de descargar la leche desde el tanquero hasta los silos de almacenamiento, esto se realiza mediante mangueras para productos alimenticios como en este caso la leche, eliminadores de aire, bombas, filtros, caudalímetros.

A continuación se describen los distintos componentes de los sistemas de captación de leche de manera más amplia:

1.6.1 MANGUERAS PARA SUCCIÓN DE LECHE

Son mangueras de diferentes materiales resistentes a químicos, altas temperaturas y de fácil desinfección. Debe tener un material inerte y no producir en la leche ningún olor o sabor extraño. Las mangueras para alimentos especialmente para la industria láctea deben satisfacer los requerimientos FDA y Norma A3.

1.6.1.1 Manguera Serie MILK

Es una manguera de PVC de grado alimenticio como se observa en la Figura 3 para la succión de líquidos como: agua potable, cerveza, vinos, jugos y transferencia de leche y productos lácteos [5].



Figura 3. Manguera Serie MILK
Fuente: Catálogo Tigerflex [6]

En la Tabla 1.1 se observa las características técnicas de este tipo de mangueras.

Tabla 1.1 Características técnicas de la manguera Serie MILK

Descripción	Características técnicas
Material	PVC
Temperatura	-20°C a 65°C
Presión de trabajo	40 Psi – 75 Psi
Refuerzo	Espiral rígido de PVC

1.6.1.2 Manguera Serie FT

Manguera de PVC grado alimenticio como se muestra en la Figura 4, utilizado para la succión y transferencia de líquidos como: agua potable, cerveza, vinos, leche y productos lácteos [7].

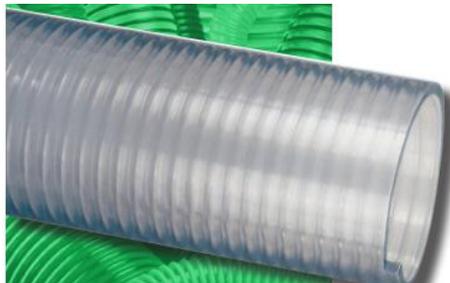


Figura 4. Manguera Serie FT
Fuente: Catálogo Tigerflex [8]

En la Tabla 1.2 se observan sus características técnicas.

Tabla 1.2 Características técnicas de la manguera Serie FT

Descripción	Características técnicas
Material	PVC
Temperatura	-20°C a 65°C
Presión de trabajo	15 Psi – 115 Psi
Refuerzo	Espiral rígido de PVC

1.7 ELIMINADORES DE AIRE

Los eliminadores de aire como se muestra en la Figura 5 y como su nombre lo indica se encargan de eliminar la presencia de gases en los líquidos bombeados. Los problemas asociados con la existencia de gases es la mala precisión de lectura del medidor de flujo y problemas de calidad del producto. Su posición dentro del proceso de recepción es entre la bomba y el dispositivo de medición.



Figura 5. Eliminador de aire "AE"
Fuente: ANDERSON-NEGELE [9]

1.7.1 BOMBAS

Las bombas se utilizan en la industria láctea para el transporte de leche desde el tanquero hacia los silos y posteriormente al envío a producción mediante tuberías. Lo que se busca en las bombas es que sean herméticas para protegerse de los gérmenes

y para esto se suele utilizar el acero inoxidable AISI 316L [10]. Este tipo de bombas debe limpiarse mediante CIP (Cleaning in Place). A continuación se detallan diversos tipos de bombas utilizadas dentro de las industrias lácteas.

1.7.1.1 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas como se muestra en la Figura 6 son las más utilizadas dentro de la industria láctea para la transferencia de líquidos y las ventajas primordiales son su diseño sanitario y económico [11].



Figura 6. Bomba centrífuga
Fuente: Inoxpa [11]

1.7.1.2 Bombas Volumétricas

Las bombas volumétricas como se observa en la Figura 7, son bombas que se caracterizan por una suave acción de bombeo, además de ser ideales para manejar tipos de líquidos de baja como de alta viscosidad. Esta bomba consta de dos rotores que giran de manera sincronizada sin tocarse, y los espacios entre ellos se llenan continuamente y se transporta el producto de la succión hacia la impulsión, desplazando un volumen fijo [12].



Figura 7. Bomba volumétrica lobular rotativa HLR
Fuente: Inoxpa [12]

1.7.1.3 Bombas de canal lateral

Las bombas de canal lateral como se observa en la Figura 8, son diseñadas para bombear productos que contengan aire o gas dentro de la industria alimentaria, farmacéutica y química. Su principal aplicación es la de retorno de CIP [13].



Figura 8. Bomba de canal lateral ASPIR
Fuente: Inoxpa [13]

1.7.2 FILTROS

Los filtros son básicamente un cuerpo con una entrada y salida dentro del cual se fija el tamiz que retiene las partículas que tengan un tamaño superior o igual al paso de la malla [14].



Figura 9. Filtros
Fuente: Inoxpa [14]

1.7.3 CAUDALÍMETROS

Los contadores o caudalímetros se utilizan para medir el volumen o caudal volumétrico de líquidos con una viscosidad no muy elevada (inferior a 70 cP) [15]. A continuación se describe uno de los caudalímetros más utilizados en la industria láctea.

1.7.3.1 Caudalímetro electromagnéticos

Los caudalímetros electromagnéticos como se muestra en la Figura 10 son instrumentos que están basados en la Ley de Faraday establece que el voltaje de la señal depende de la velocidad promedio del fluido eléctricamente conductivo, la intensidad del campo electromagnético y la longitud del conductor [16].



Figura 10. Caudalímetro electromagnético
Fuente: direcindustry, [17]

1.8 ALMACENAMIENTO DE LECHE CRUDA

La leche cruda o sin tratar se almacena en grandes silos o tanques que oscilan entre los 5000 a 150000 litros de capacidad. Los silos de menor dimensión suelen situarse en el interior de las fábricas, mientras que los silos de mayor dimensión se encuentran en el exterior para evitar gastos de construcción [18].

1.8.1 AGITACIÓN EN SILOS

La agitación es importante durante el almacenaje de la leche cruda debido a que previene la separación de crema por gravedad, en la Figura 11 se observa un motor cuyo rotor está adaptado a un eje con aspas para realizar circulación de leche en todo el silo [19].

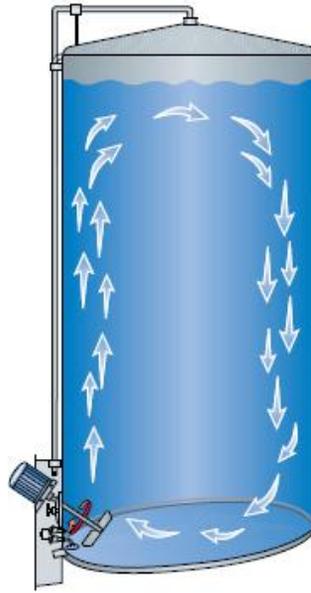


Figura 11. Agitación en silos de almacenamiento
Fuente: Handbook Milk and Dairy products [19]

1.9 LIMPIEZA CIP EN LA INDUSTRIA LÁCTEA

La limpieza CIP (Clean in Place) es una práctica muy común en plantas de productos lácteos, alimentos procesados entre otros, reemplazando la limpieza manual y la reconstrucción de sistemas de procesos [20]. Se basa en la circulación de agua y soluciones detergentes por las tuberías, tanques o silos y líneas de procesos sin necesidad de desmontar los equipos.

El flujo de líquidos a altas velocidades genera un barrido mecánico que facilita el desprendimiento de suciedad, el cual solo se aplica para el flujo en tuberías, bombas, válvulas, separadores, entre otros.

Para la limpieza de tanques o silos de grandes dimensiones no se suele usar el método de barrido mecánico debido a que no se logra un correcto lavado de la superficie interna del silo, para ello se emplea aspersores especiales como se muestra en la Figura 12, cuya función es la de esparcir los distintos líquidos de limpieza desde la parte superior permitiendo que los líquidos se desplacen hacia abajo por las paredes del silo.

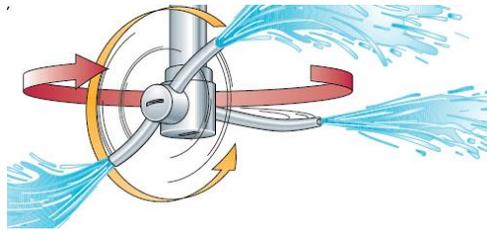


Figura 12 Aspersor especial para limpieza de silos
Fuente: Handbook Milk and Dairy products [21]

1.9.1 CIRCUITOS CIP

Existen tres factores para determinar si un equipo es apto para utilizar un sistema CIP [22]:

- Los residuos dejados en el sistema por el producto deben ser iguales para que los mismos detergentes y desinfectantes puedan ser utilizados.
- La superficie de los materiales que conforman el equipo o sistema deben ser los mismos.
- Todos los componentes en el sistema deben estar disponibles para lavarse al mismo tiempo.

1.9.2 CRITERIOS PARA DISEÑO CIP

Los criterios para el diseño de circuitos CIP son importantes para asegurarse que aparte de la limpieza del equipamiento o líneas de tuberías, el producto esté protegido de cualquier posibilidad de contaminación por parte de las soluciones utilizadas en el proceso CIP [23].

1.9.2.1 Elección de soluciones o químicos

Como se mencionó en el apartado 1.9.1 los químicos como detergentes y desinfectantes están gobernados por el tipo de material de construcción que constituya el equipo o sistema, el material más común es el acero inoxidable el cual cuenta con una gran resistencia a soluciones de limpieza.

En los procesos lácteos se utilizan ácidos minerales diluidos como el ácido nítrico o en menor medida ácido fosfórico para remover depósitos de calcio y para remover

depósitos de suciedad producidas por proteínas residuales se utilizan soluciones alcalinas como la soda cáustica.

El ácido nunca puede emplearse primero que la soda cáustica debido a que provocará una precipitación de proteína causando una mayor dificultad en la limpieza y en remover la suciedad [24].

1.9.2.2 Tiempo de circulación

El tiempo de circulación de las distintas soluciones o químicos depende de cuanta cantidad de suciedad se genera y el tipo de equipamiento o sistema se desee limpiar. Para tuberías y tanques de almacenamiento se requiere aproximadamente de 20 minutos de circulación de solución cáustica [25].

1.9.2.3 Velocidad de flujo

Los procesos de planta siempre deben ser limpiados mediante condiciones de flujo turbulento a velocidades entre 1.5 a 2.1 m/s. El uso de este tipo de velocidades permite mejorar la eficiencia en la limpieza de instrumentación o en válvulas [26].

1.9.2.4 Limpieza de tanques o silos

Para la limpieza de tanques o silos se utilizan diferentes tipos de aspersores dependiendo de la geometría e instrumentos internos del tanque.

Existen distintos dispositivos de limpiezas entre las cuales se destacan las siguientes:

1.9.2.4.1 Limpieza estática

Este tipo de limpieza consta de dispositivos de forma esférica como se observa en la Figura 13 y se utilizan para la limpieza de tanque donde se almacenen productos más solubles al agua o detergentes utilizados. Los aspersores esféricos cuentan con una cantidad de orificios uniformemente distribuidos cuyas presiones de trabajo normalmente son de 2 bar a 3 bar [27].



Figura 13. Aspersor de bola
Fuente: edelflex [27]

1.9.2.4.2 Limpieza rotativa

Estos dispositivos son de mayor complejidad porque contienen rodamientos hidrodinámicos que permiten que el dispositivo gire con la misma presión del fluido. La ventaja de utilizar este tipo de aspersor es obtener una limpieza eficiente con mayor presión y menos caudal. Su presión de trabajo es de hasta 20 bar [28]. En la Figura 14 se observa un tipo de aspersor para limpieza rotativa.



Figura 14. Aspersor rotativo
Fuente: edelflex [28]

1.9.2.4.3 Limpieza orbital

Son dispositivos que se utilizan para remover suciedad en lugares difíciles de alcanzar para otros tipos de aspersores y su presión de trabajo es de hasta 8 bar [29]. En la Figura 15 se observa este tipo de aspersor.



Figura 15. Aspersor rotativo
Fuente: edelflex [29]

1.9.3 PROGRAMAS CIP

Según [30] la limpieza CIP para un sistema con tuberías, tanques y otros componentes fríos deben comprender las siguientes etapas:

1. Enjuague con agua caliente, durante 3 minutos.
2. Circulación de un detergente alcalino, durante 10 minutos.
3. Enjuague con agua caliente, durante 3 minutos.
4. Desinfección con agua caliente (90 - 95°C) durante 5 minutos.
5. Enfriamiento con agua fría.

Otro proceso según [31] es:

1. Enjuague con agua fresca.
2. Circulación de solución cáustica.
3. Enjuague con agua fresca.
4. Circulación de solución ácida.
5. Enjuague con agua fresca.

1.9.4 GRADO DE SOLUBILIDAD DE DEPÓSITOS DE SUCIEDAD

Los distintos depósitos de suciedad tienen diferentes grados de solubilidad frente al agua y las soluciones de limpieza que se utilizan en el proceso CIP, en la Tabla 1.3 [32] se observa el grado de solubilidad entre los tipos de suciedad y las soluciones y agua.

Tabla 1.3 Grado de solubilidad entre depósitos de suciedad y sustancias CIP

CIP Suciedad	Agua	Solución Alcalina	Solución Ácida
Lactosa	Buena	Pobre	Pobre
Grasa	Pobre	Buena	Media
Proteínas	Pobre	Buena	Media
Sales Minerales	Media	Media	Buena

1.10 AUTOMATIZACIÓN

Los procesos en las pequeñas industrias lácteas eran controlados por personal no capacitado quienes se encargaban de la mayoría de operaciones manuales, pero hoy en día, las industrias han ido creciendo debido a la aparición de nuevos equipos más sofisticados, de mayor capacidad tanto en tamaño como en funcionalidad, mayor número de válvulas, motores, entre otros. Esto obliga a las pequeñas industrias a cambiar su modo de operar manualmente, a uno en el cual se puede operar de manera simultánea diversos procesos mediante la incorporación de elementos de automatización.

La automatización es la acción de controlar uno o varios procesos mediante un sistema de control con instrucciones previamente programado [33]. Dentro de la automatización existen varios tipos de señales entre el sistema de control y los procesos las cuales se describen a continuación:

1. Input o entrada (analógica).- Son señales que proveen información al instante del estado de un actuador o proceso como: temperatura, presión, nivel entre otros.
2. Output o salida (comandos).- Son señales encargadas de activar componentes en los procesos como: motores, bombas y válvulas.
3. Input o entrada (retroalimentación).- Son señales que informan al sistema de control si un actuador ha sido activado.

1.10.1 TIPOS DE CONTROL

Existen varios tipos de control dependiendo del grado de automatización que se quiera implementar. Los tipos de control se describen a continuación:

1. Control digital.- Se basa en el control de componentes que pueden estar en dos estados, activado o desactivado.
2. Control analógico.- Es tipo de control es usado cuando existen transmisores o sensores los cuales brindan una señal de retroalimentación al sistema de control para conocer el estado de uno o varios procesos en tiempo real.
3. Monitoreo.- Este control funciona para observar de manera visual el estado de procesos mediante señales de retroalimentación, como también, brindar alarmas sobre una falla que ocurra durante la ejecución de un proceso.

1.10.2 ACTUADORES

Los actuadores más utilizados dentro de los procesos de almacenaje y limpieza son las bombas y válvulas. Estos actuadores son controlados mediante control digital debido a que ambos tienen dos estados, para las bombas: encendido o apagado y en cuanto a las válvulas: abierta o cerrada.

Las bombas fueron explicadas en la sección 1.7.1

1.10.2.1 Válvulas

Las válvulas son actuadores utilizados en la industria láctea que permiten el paso de fluidos a diferentes secciones de tuberías hasta llegar al punto indicado. En industrias pequeñas se suelen utilizar válvulas manuales porque no abundan en cantidades grandes y los procesos no son de gran complejidad o se llevan a cabo uno por uno.

Cuando se necesitan realizar varios procesos simultáneamente, esto conlleva al aumento en la complejidad, por ende las válvulas manuales no son las adecuadas por lo que se considera cambiarlas por válvulas que sean controladas mediante un sistema de control. Estas válvulas suelen estar acopladas con un actuador eléctrico o neumático.

1.10.2.1.1 *Válvula con actuador eléctrico*

Las válvulas con actuador eléctrico son utilizadas para procesos automatizados los cuales son activados mediante un impulso eléctrico enviada por el sistema de control. En la Figura 16 se observa una válvula con actuador eléctrico.



Figura 16. Válvula con actuador eléctrico
Fuente: Genebre [34]

1.10.2.1.2 *Válvula con actuador neumático o cabezal de control*

Las válvulas con actuador neumático como las eléctricas son utilizadas para procesos donde se requiera automatizar procesos de gran complejidad. Estos actuadores o cabezales de control van montados sobre el accionamiento neumático de las válvulas y el cual puede recibir señales desde un cuadro de mando o PLC para su funcionamiento, así como, una retroalimentación hacia estos para indicar el estado o posición en el que se encuentran las válvulas [35]. En la figura 17 se observa un tipo de cabezal utilizado en las válvulas.



Figura 17. Cabezal C-TOP+
Fuente: Inoxpa [35]

1.10.3 SENSORES

Los sensores son dispositivos diseñados para percibir información de una magnitud física o química y luego ser transformada a una señal eléctrica para ser procesada por un sistema de control y ser mostrada numéricamente o visualmente. En la industria son importantes para tener conocimiento de lo que pasa en uno o varios procesos en tiempo real y para corregir o tomar las medidas correspondientes frente a situaciones inesperadas. Los sensores que se utilizan o que aparecen con mayor frecuencia dentro de la industria láctea, en especial en los procesos de almacenaje y limpieza son:

1. Sensores de nivel
2. Sensores de temperatura

1.10.3.1 Sensores de nivel

Los sensores de nivel son importantes en la industria láctea porque es necesario conocer y supervisar el volumen de leche que tienen disponible en los tanques de almacenamiento. Existen varios tipos de sensores de nivel, entre los más utilizados son:

1. Sensor de nivel ultrasónico
2. Sensor de nivel capacitivo
3. Sensor/Transmisor de nivel hidrostático

1.10.3.1.1 Sensor de nivel ultrasónico

Este tipo de sensores emplea un pulso ultrasónico el cual es emitido mediante un transmisor, viajando este pulso hasta que haga contacto con el material o sustancia a medir, rebotando y siendo detectado por un receptor de ultrasonidos incorporado en el mismo sensor. Sensores sofisticados y fabricados para la automatización cuentan con una salida de señal analógica para el control continuo, en otras palabras saber el nivel o volumen cuando se está llenando o descargando el producto desde el tanque o silo. También vienen con salidas las cuales solo controlan cuando el producto alcanza un nivel máximo y mínimo preestablecido. En la Figura 18 se observa un tipo de sensor ultrasónico.



Figura 18. Sensor ultrasónico F65
Fuente: Pepperl-fuchs [36]

1.10.3.1.2 *Sensor de nivel capacitivo*

Los sensores capacitivos se basan en el cambio de capacitancia de un condensador. La sonda y la pared del depósito forman un condensador cuya capacitancia depende de la cantidad de producto en el depósito [37]. En la Figura 19 se observa este tipo de sensor de nivel.



Figura 19. Sensor de nivel capacitivo
Fuente: Endress-Hauser [38]

1.10.3.1.3 *Sensor/Transmisor de nivel hidrostático*

Este tipo de sensores se basan en la medición por medio de la presión hidrostática generada por las sustancias almacenadas en los tanques. La presión hidrostática está comprendida por la gravedad, densidad de la sustancia y por la altura de esta en el tanque. Estos sensores por lo general cuentan con un actuador en contacto con las sustancias sensible a cambios de la presión hidrostática. En la Figura 20 se observa un tipo de transmisor de nivel hidrostático.



Figura 20. Transmisor de nivel ES2
Fuente: King-gage [39]

1.10.3.2 Sensores de temperatura

Estos sensores son utilizados para determinar la temperatura en la que se encuentran los productos o sustancia dentro de uno o varios procesos. Dentro de la industria láctea es importante conocer a que temperatura se almacena la leche en los silos. Existen diferentes tipos de sensores que tienen distintas presentaciones en forma de sondas, varillas o hasta termostatos, las cuales varían solo en rango de medición y forma física. En la Figura 21 se observa un tipo de sensor de temperatura.



Figura 21. Sensor de temperatura tipo sonda
Fuente: Endress-Hauser [40]

Capítulo II

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones técnicas parten desde los requerimientos y deseos del usuario. Para esto se ha realizado un análisis de las necesidades del usuario.

2.1 VOZ DEL USUARIO

Es el proceso que conduce al desarrollo y diseño del producto o servicio mediante la exposición de requerimientos y deseos por parte del usuario.

Los requerimientos y deseos de la empresa La Holandesa para Rediseño del sistema de captación de leche y red de tuberías con automatización para el transporte y limpieza de tres silos son los siguientes:

- ✓ Mostrar el nivel de leche en los silos
- ✓ Ubicar válvulas en un solo lugar
- ✓ Tener un control automático
- ✓ Reubicar el sistema de captación de leche

2.1.1 VOZ DEL INGENIERO

Es la encargada de traducir los requerimientos y deseos del usuario en características técnicas que brindarán posibles soluciones para las etapas de diseño y construcción.

Dichas especificaciones son:

1. HMI
2. Sensores de nivel/temperatura
3. Electroválvulas
4. PLC
5. Rediseño, reubicación y cálculo de potencia de bombas

2.2 CASA DE LA CALIDAD

La casa de la calidad traduce los requerimientos y deseos del usuario en requerimientos técnicos del producto. En el anexo 1 se observa la casa de la calidad construida a partir de los requerimientos obtenidos mediante la voz del usuario y del ingeniero.

Al finalizar la construcción de la casa de la calidad se obtiene el índice de importancia que tiene cada característica técnica, esto es de gran ayuda ya que la mayoría del tiempo se desconoce por donde comenzar la etapa del diseño como se observa a continuación:

• PLC	23,8%
• Sensores de nivel/temperatura	23,8%
• Electroválvulas	22,5%
• Rediseño, reubicación y cálculo de potencia de bombas	14,4%
• HMI	7,9%
• Diseño de nueva red de tuberías	7,6%

Tomando en cuenta los porcentajes de las características técnicas se puede notar que el HMI, electroválvulas y los sensores tienen una ponderación del 79.7% por lo que enfocarse en estas características será de gran importancia durante el trascurso del diseño y construcción.

2.3 FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La formulación de especificaciones parte de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad y puede tener numerosos orígenes comprendidos entre los dos casos siguientes [41]:

- La petición explícita de un cliente (deseo o requerimiento)
- Estudio de mercado del fabricante

En la Tabla 2.1 se determinan los distintos requerimientos para la realización del proyecto manifestados por el usuario o el ingeniero.

Tabla 21 Especificaciones técnicas

Empresa: La Holandesa		Producto: Sistema de recepción, almacenaje de leche y limpieza de silos		Fecha inicial: 30/05/2017 última revisión: 31/05/2017
Empresa de ingeniería: Carlos Muñoz				Página 1/1
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Señales y control	30/05/2017	C	R	Automatizar el flujo de leche y proceso de limpieza mediante válvulas controladas por un PLC
	30/05/2017	C	D	Implementar sensores de nivel y temperatura en cada silo
	30/05/2017	C	R	Determinar y mostrar el volumen de leche en litros de cada silo en una HMI
	30/05/2017	C	D	Sistema centralizado de válvulas
Fabricación y montaje	30/05/2017	C	R	Rediseño y reubicación del sistema de captación de leche
	30/05/2017	C	D	Diseño de una nueva red de tuberías para realizar las tareas de almacenaje de leche, limpieza y retorno CIP simultáneamente.
Energía	30/05/2017	P	R	Alimentación 220V trifásico para funcionamiento de las bombas
	30/05/2017	P	R	Alimentación 110V monofásico para funcionamiento del PLC
Seguridad y ergonomía	30/05/2017	I	R	Tablero de control posicionado en un lugar libre de salpicadura de fluidos y cómodo para el uso por parte de operarios
Materiales	30/05/2017	C	R	Tuberías de acero inoxidable AISI 304
Plazos	30/05/2017	C	D	Plazo:1 año
Fuerzas	30/05/2017	C	R	Mantener una presión de salida del aspersor de limpieza dentro del silo de 2 bar
Aspectos legales	30/05/2017	C + I	R	Utilizar materiales que cumplan con los requerimientos FDA y Norma 3A

Propone: C = cliente; P = Producción; I = Ingeniería

R/D: R = Requerimiento; D = Deseo

2.4 DISEÑO CONCEPTUAL

El diseño conceptual es una etapa del proceso del diseño donde a partir de la especificación, proporciona como resultado un principio de solución aceptado [53].

2.4.1 ESTRUCTURA FUNCIONAL

La estructura funcional permite resolver y describir problemas de diseño, utilizando el concepto de función, la cual es una formulación abstracta de una tarea independientemente de su solución [42].

El análisis funcional es la estructuración de módulos con el fin de determinar la solución más óptima para el correcto funcionamiento de la máquina o sistema.

2.4.2 NIVEL 0: FUNCIÓN GLOBAL

El nivel 0 es donde se describe la función global y al mismo tiempo es una tarea que debe realizar el producto a diseñar y se establece en una caja negra relacionándose con flujos de entrada y salida.

En la Figura 22 se observa la función global que debe realizar el sistema a implementar en La Holandesa.

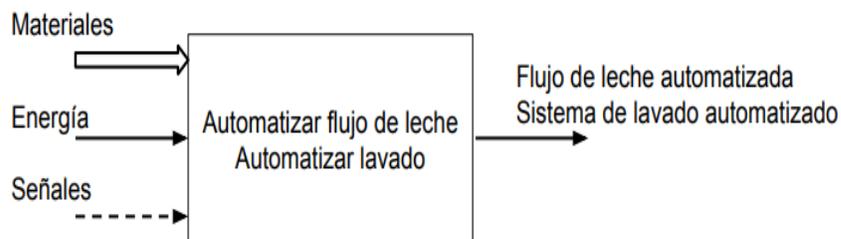


Figura 22. Nivel 0: Función global

2.4.3 NIVEL 1: MÓDULOS PARA EL FLUJO DE LECHE AUTOMATIZADA

En el nivel 1 se determinan las diferentes funciones que el sistema realizará para obtener el resultado de la salida descrita en el nivel 0. En la Figura 23 se observa las funciones agrupadas en módulos para un mejor entendimiento del proceso de automatización.

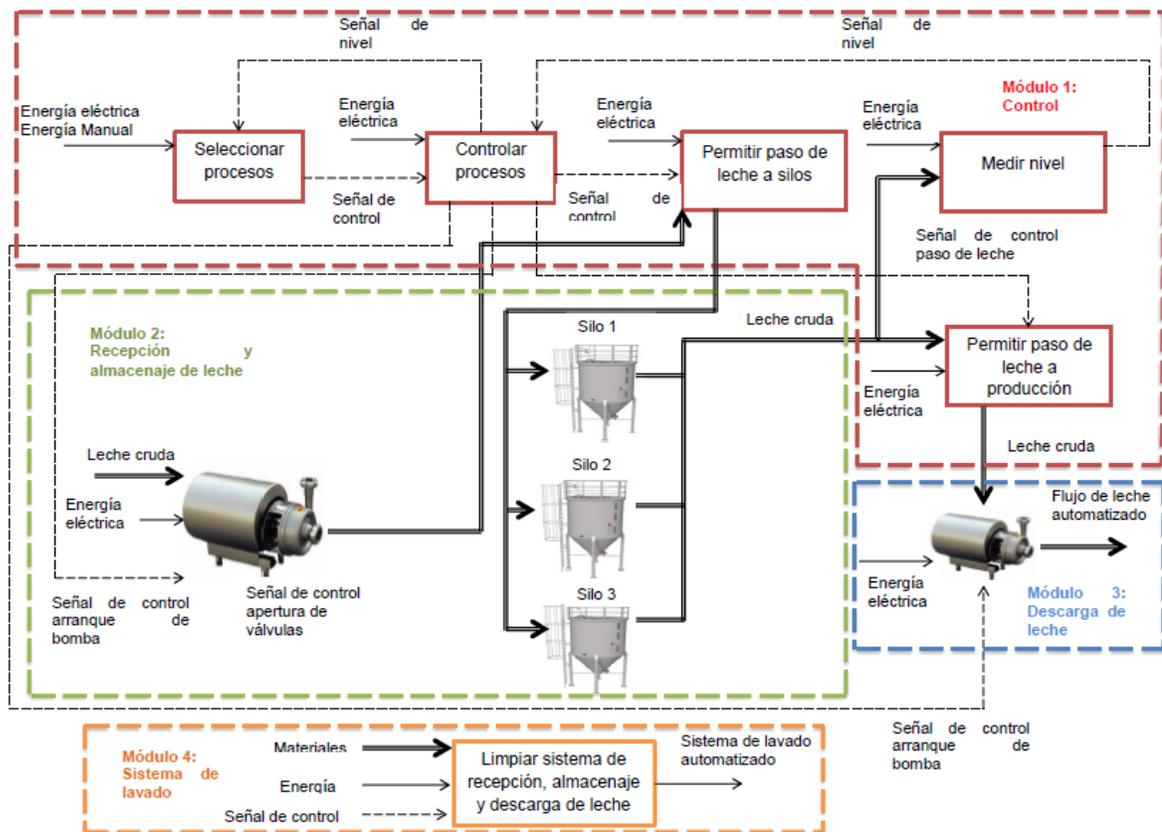


Figura 23. Nivel 1: Módulos para el flujo de leche automatizada

Como se observa el nivel 1 cuenta con cuatro módulos mencionados a continuación:

- Módulo 1: Control
- Módulo 2: Recepción y almacenamiento de leche
- Módulo 3: Descarga de leche
- Módulo 4: Sistema de lavado

El módulo 4 está conformado por funciones distintas a las descritas en el nivel 1; para obtener el sistema de lavado automatizado se necesita de un nivel 2 para su explicación.

2.4.4 NIVEL 2: MÓDULOS PARA EL SISTEMA DE LAVADO AUTOMATIZADO

Este nivel muestra de mejor manera el proceso de limpieza de los silos. El nivel 2 se observa en la Figura 24.

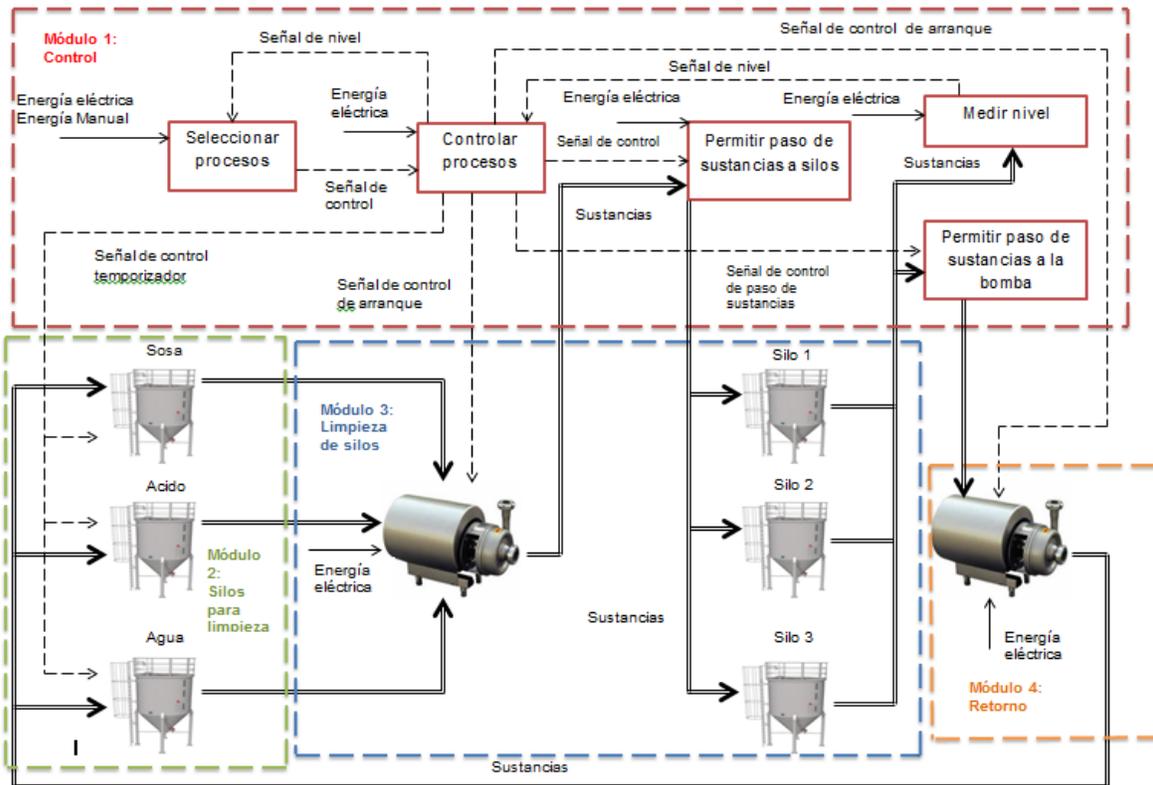


Figura 24. Nivel 2: Módulos para el sistema de lavado automatizado

2.5 DEFINICIÓN DE LOS MÓDULOS FUNCIONALES

Definidos los niveles 0, 1 y 2 se especifica cada uno de los módulos funcionales para conocer sus principales características.

2.5.1 NIVEL 1: MÓDULO DE CONTROL

La principal función del módulo 1 de control es el de controlar el proceso de recepción, almacenaje y descarga de leche para su posterior producción; la función seleccionar proceso permitirá una mejor interacción entre los operarios y los actuadores del sistema.

La función de controlar procesos estará encargado de seleccionar el silo de almacenamiento dependiendo de la decisión del operario por medio del panel de control, así como elegir que silo será utilizado para la descarga de leche hacia producción. La medición de nivel de leche dentro de los silos se enviará la función de

controlar procesos para su procesamiento y por último a la función de seleccionar procesos para su visualización.

2.5.2 NIVEL 1: MÓDULO DE RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LECHE

El módulo 2 está constituido por dos procesos, el primero es el de recepción de leche el cual por medio de una bomba transporta la leche hacia el silo de almacenamiento, estos procesos son determinados por el operario mediante el módulo de control.

2.5.3 NIVEL 1: MÓDULO DESCARGA DE LECHE

El módulo 3 se encarga de enviar la leche almacenada en los silos a producción. El silo que será vaciado es determinado por el operario mediante el módulo de control.

2.5.4 NIVEL 1: MÓDULO SISTEMA DE LAVADO

Este módulo es un proceso que se realiza al terminar el proceso de recepción, almacenaje y descarga de leche. Como se mencionó en la sección 2.4.3 se desarrolló un nivel 2 para su mejor explicación. A continuación se describen los módulos que conforman este proceso de lavado.

2.5.4.1 Nivel 2: Módulo de control

El módulo 1 de control de este nivel cumple las mismas funciones que las del nivel 1. Las funciones seleccionar y controlar procesos cumplirán la misma función que la descrita en el nivel 1 para la selección del silo a limpiar.

La función de medir el nivel será la encargada de controlar la cantidad de sustancia que se encuentra en el silo, cuando llegue a un nivel predeterminado dará una señal al controlador que a su vez pondrá en funcionamiento del módulo 4 que se explicará más adelante.

2.5.4.2 Nivel 2: Módulo silos para limpieza

El módulo 2 de este nivel está constituido por 3 silos pequeños en los que contienen las sustancias necesarias para la limpieza del sistema como: agua, sosa y ácido. El proceso de limpieza ya está preestablecido por la empresa por lo que el procedimiento estará controlado por el módulo 1 de control.

2.5.4.3 Nivel 2: Módulo limpieza de silos

El módulo 3 utiliza el mismo proceso de bombeo de leche pero con las diferentes sustancias hacia el silo escogido por parte del usuario por medio del módulo de control.

2.5.4.4 Nivel 2: Módulo de retorno

El módulo 4 se encarga de bombear la sustancia que se encuentra dentro del silo después de haber recibido la señal del controlador por medio del medidor de nivel hacia su respectivo silo que se encuentran en el módulo 2.

2.6 ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCIÓN DE CADA MÓDULO

Descritos los módulos funcionales del sistema se procede a establecer distintas alternativas para la solución de cada uno de los módulos.

2.6.1 SOLUCIÓN MÓDULO 1: CONTROL

El módulo 1 de control del nivel 1 consta de las siguientes funciones:

1. Seleccionar procesos
2. Controlar procesos
3. Seleccionar silo de almacenamiento
4. Seleccionar silo para envío a producción
5. Medir nivel

Las alternativas para la solución de cada función son las siguientes:

2.6.1.1 Seleccionar procesos

Función encargada de seleccionar los procesos entre el operario y los procesos mediante un panel de control.

Este panel de control emplea pulsadores, relés, interruptores entre otros y es el medio más utilizado en este tipo de empresas lácteas. O, mediante una HMI, el cual brinda una visualización en tiempo real de los procesos.

A continuación en la Tabla 2.2 se mencionan las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas mencionadas.

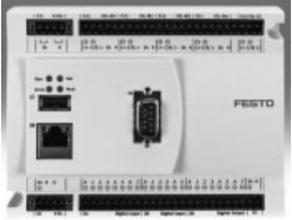
Tabla 22 Alternativas para la función seleccionar procesos

Alternativas	Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="370 321 565 342">Tablero eléctrico</p>  <p data-bbox="297 554 639 600">Figura 25. Tablero eléctrico Fuente: electricosytableroshhs, [43]</p>	<ol data-bbox="743 321 1040 499" style="list-style-type: none"> 1. Amplia gama de componentes. 2. Sencillez de los sistemas de mando. 	<ol data-bbox="1115 321 1425 537" style="list-style-type: none"> 1. Ocupan mucho espacio. 2. Mantenimiento complejo. 3. Para aplicaciones sencillas
<p data-bbox="285 821 651 842">HMI (Interfaz Hombre - Máquina)</p>  <p data-bbox="362 1045 574 1092">Figura 26. HMI Fuente: siemens, [44]</p>	<ol data-bbox="743 678 1040 1241" style="list-style-type: none"> 1. Permiten mostrar todos los elementos en una sola pantalla. 2. Es de fácil expansión o modificación de los elementos. 3. Ocupan menos espacio. 4. Los elementos eléctricos pueden ser reemplazos fácilmente. 	<ol data-bbox="1115 678 1425 999" style="list-style-type: none"> 1. La HMI debe correr sobre un CPU y una pantalla para su visualización. 2. Para realizar la modificación se debe tener acceso al código fuente.

2.6.1.2 Controlar procesos

Esta función es la encargada de controlar los procesos relacionados tanto en la recepción, almacenaje y descarga de leche, como el proceso de lavado de todo el sistema descrito en el nivel 2. A continuación en la Tabla 2.3 se observan las diferentes alternativas para controlar los procesos.

Tabla 2.3 Alternativas para controlar procesos

Alternativas	Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="402 321 597 342">Siemens S7-300</p>  <p data-bbox="370 674 630 720">Figura 27. Siemens S7-300 Fuente: siemens, [44]</p>	<ol data-bbox="792 321 1044 615" style="list-style-type: none"> 1. Fácil de realizar expansiones de módulos. 2. Capaz de soportar más de 10 módulos. 	<ol data-bbox="1117 321 1417 573" style="list-style-type: none"> 1. Software de programación bajo licencia. 2. Costo elevado mientras más alto el nivel de automatización.
<p data-bbox="358 741 641 762">Controlador Festo CECC</p>  <p data-bbox="337 1031 670 1077">Figura 28. Controlador Festo CECC Fuente: festo, [45]</p>	<ol data-bbox="792 741 1044 1035" style="list-style-type: none"> 1. Capacidad de controlar 64 válvulas por salida (4 salidas). 2. Software con licencia gratuita. 	<ol data-bbox="1117 741 1417 877" style="list-style-type: none"> 1. Costo elevado mientras más alto el nivel de automatización.

2.6.1.3 Permitir paso de leche a silos, producción y paso de sustancias de limpieza.

Estas funciones son las encargadas de dar paso al fluido de leche o el de las sustancias de limpieza una vez seleccionado el silo a utilizar. En la Tabla 2.4 se muestran las diferentes alternativas para estas funciones

Tabla 24 Alternativas para el paso de fluidos hacia los silos

Alternativa	Ventajas	Desventajas
<p>Válvula de mariposa con accionamiento neumático</p>  <p>Figura 29. Válvula de mariposa con accionamiento neumático Fuente: inoxpa, [46]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Son de accionamiento rápido y regulables. 2. No existe posibilidad de explosiones por producción de chispas. 3. Resistente a la corrosión. 4. Controlada por válvula solenoide a 24V. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El uso de aire comprimido es costosa. 2. Probabilidad de daño en las mangueras de aire a causa de su exposición al medio ambiente.
<p>Válvula de mariposa con accionamiento eléctrico</p>  <p>Figura 30. Válvula de mariposa con accionamiento eléctrico</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistente a la corrosión. 2. Mando manual de emergencia. 3. Control electrónico de par. 4. Control térmico de temperatura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ocupa un mayor espacio. 2. Posibilidad de generar sobrecalentar al motor

2.6.1.4 Medir nivel

Esta función permitirá medir el nivel de leche y sustancias de limpieza dentro de los silos para mostrar mediante un valor numérico en el panel de control y ser visualizado por el operario. En la Tabla 2.5 se muestran las siguientes alternativas para esta función.

Tabla 25 Alternativas para medición de nivel

Alternativas	Ventajas	Desventajas
<p>Sensor de medición de nivel ultrasónico</p>  <p>Figura 31. Sensor de nivel ultrasónico</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Permite medir hasta la parte inferior del silo. 2. Se puede configurar sin llenar o vaciar el silo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No adecuados para aplicaciones con presencia de espuma.

<p>Sensor de nivel sumergible capacitivo.</p>  <p>Figura32. Sensor de nivel sumergible capacitivo Fuente: directindustry, [47]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. De acero inoxidable. 2. Rango de niveles desde 5 a 100 m. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensible cuando el líquido tiene vapores o burbujas, pues afectan a la constante dieléctrica.
<p>Transmisor de nivel ES2 por presión hidrostática</p>  <p>Figura33. Transmisor de nivel es2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Su instalación es sencilla y puede colocarse en cualquier posición. • No se ve afectado por la agitación del fluido y aparición de espuma. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rango de temperatura de trabajo hasta 79 grados centígrados.

2.7 MATRIZ MORFOLÓGICA

La matriz morfológica contiene las diferentes alternativas de las funciones anteriormente descritas para encontrar la mejor solución posible para implementación del sistema. En la Figura 34 se muestra las distintas soluciones para el diseño y automatización del sistema.

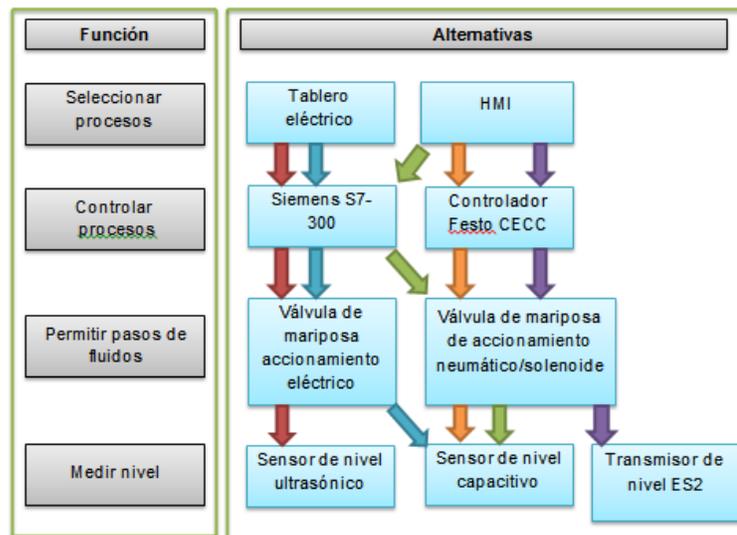


Figura34. Matriz morfológica

En la Tabla 2.6 se indican las distintas alternativas que se originaron a partir de la matriz morfológica.

Tabla 2.6 Alternativas

Alternativa	Componentes
Alternativa 1	<ul style="list-style-type: none"> • Tablero eléctrico • Siemens S7-300 • Válvula de mariposa de accionamiento eléctrico • Sensor de nivel ultrasónico
Alternativa 2	<ul style="list-style-type: none"> • Tablero eléctrico • Siemens S7-300 • Válvula de mariposa de accionamiento eléctrico • Sensor de nivel capacitivo
Alternativa 3	<ul style="list-style-type: none"> • HMI • Siemens S7-300 • Válvula de mariposa de accionamiento neumático/solenoide • Sensor de nivel capacitivo
Alternativa 4	<ul style="list-style-type: none"> • HMI • Controlador Festo CCEC • Válvula de mariposa de accionamiento neumático/solenoide • Sensor de nivel capacitivo
Alternativa 5	<ul style="list-style-type: none"> • HMI • Controlador Festo CECC • Válvula de mariposa de accionamiento neumático/solenoide • Transmisor de nivel ES2

2.8 MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS

La matriz de residuos ponderados permite evaluar los parámetros de cada propiedad sin que tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio. Se basa en unas tablas donde cada criterio se confronta con las soluciones y se asignan los valores siguientes, [48]:

- ✓ 1 Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas.
- ✓ 0.5 Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas.
- ✓ 0 Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas.

Para realizar la matriz de residuos ponderados se deben plantear los criterios de evaluación para cada alternativa, en la siguiente lista se determinan dichos criterios:

- a) Automatización; los procesos de recepción, almacenaje, envío a producción y limpieza deben contar con componentes automatizados para obtener procesos continuos, rápidos y precisos.
- b) Precio
- c) Mantenibilidad
- d) Consumo energético

Obtenidos los criterios se procede a realizar la evaluación de los pesos de cada criterio como se muestra en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Evaluación de los pesos de cada criterio

Automatización > Precio = Consumo energético > Mantenibilidad						
Criterio	Automatización	Precio	Mantenibilidad	Consumo energético	$\Sigma +1$	Ponderación
Automatización		0,5	1	1	3,5	0,35
Precio	0,5		1	0,5	3	0,3
Mantenibilidad	0	0		0	1	0,1
Consumo energético	0	0,5	1		2,5	0,25
				Suma	10	1

Como se observa en la tabla anterior el criterio automatización tiene la mayor ponderación de 0.35, seguido del criterio precio con un 0,3, tercero el consumo energético con una ponderación de 0.25 cada una y por último la mantenibilidad con un 0.1.

A continuación se evalúan cada criterio con las distintas alternativas formuladas en la matriz morfológica.

2.8.1 EVALUACIÓN DEL CRITERIO AUTOMATIZACIÓN CON LAS ALTERNATIVAS

En la Tabla 2.8 al realizar la evaluación de criterios se obtuvo que la alternativa 5 cuenta con la mayor ponderación de 0.27. Esto indica que los componentes propuestos para la alternativa 5 logran una mejor automatización que las otras soluciones.

Tabla 28 Evaluación del criterio automatización con cada alternativa

Alternativa 1 > Alternativa 4 > Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1							
Automatización	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	0	0	1,5	0,1
Alternativa 2	0,5		0	0	0	1,5	0,1
Alternativa 3	1	1		0,5	0	3,5	0,2333333
Alternativa 4	1	1	0,5		0,5	4	0,2666667
Alternativa 5	1	1	1	0,5		4,5	0,3
						15	1

2.8.2 EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE BAJO COSTO CON LAS ALTERNATIVAS

En la Tabla 2.9 se observa que la alternativa que satisface el criterio de bajo costo es la alternativa 1 con una ponderación del 0.3 seguidas por las demás alternativas.

Tabla 29 Evaluación del criterio de bajo costo con cada alternativa

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 4 > Alternativa 5							
Bajo costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	1	1	4,5	0,3
Alternativa 2	0,5		0,5	1	1	4	0,2666667
Alternativa 3	0	0,5		0,5	1	3	0,2
Alternativa 4	0	0	0,5		0,5	2	0,1333333
Alternativa 5	0	0	0	0,5		1,5	0,1
						15	1

2.8.3 EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE MANTENIBILIDAD CON LAS ALTERNATIVAS

Como se puede observar en la Tabla 2.10 la alternativa 5 es la opción que necesitaría una menor atención en el mantenimiento con una ponderación de 0.3.

Tabla 2.10 Evaluación del criterio de mantenibilidad con cada alternativa

Alternativa 5 > Alternativa 4 > Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1							
Mantenibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	0	0	1,5	0,1
Alternativa 2	0,5		0	0	0	1,5	0,1
Alternativa 3	1	1		0	0,5	3,5	0,2333333
Alternativa 4	1	1	1		0	4	0,2666667
Alternativa 5	1	1	0,5	1		4,5	0,3
						15	1

2.8.4 EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE CONSUMO ENERGÉTICO CON LAS ALTERNATIVAS

En la Tabla 2.11 se observa que la alternativa que menos consumo energético tiene es la 1 igualada con la alternativa 3 con una ponderación de 0.2666, seguida de las alternativas 4 y 5, y por último la alternativa 2.

Tabla 2.11 Evaluación del criterio de consumo energético con las alternativas

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 5 = Alternativa 4 > Alternativa 2							
Consumo energético	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	0,5	1	4	0,2666667
Alternativa 2	0		0	0,5	0,5	2	0,1333333
Alternativa 3	0,5	1		1	0,5	4	0,2666667
Alternativa 4	0,5	0,5	0		0,5	2,5	0,1666667
Alternativa 5	0	0,5	0,5	0,5		2,5	0,1666667
						15	1

2.9 ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA A IMPLEMENTAR

En la Tabla 2.12 se muestra las alternativas evaluadas con cada criterio para conocer sus respectivas prioridades. Esta tabla se realiza al tener todas las evaluaciones de los criterios con cada alternativa.

Tabla 2.12 Prioridades

Conclusión	Automatización	Bajo costo	Mantenibilidad	Consumo energético	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,035	0,03	0,01	0,066666667	0,14166667	4
Alternativa 2	0,035	0,03	0,01	0,033333333	0,10833333	5
Alternativa 3	0,081666667	0,07	0,023333333	0,066666667	0,24166667	2= 3
Alternativa 4	0,093333333	0,08	0,026666667	0,041666667	0,24166667	2= 3
Alternativa 5	0,105	0,09	0,03	0,041666667	0,26666667	1

Como se observa en la tabla anterior la alternativa 5 cuenta con la mayor prioridad, seguida de la alternativa 4 y 3. En la Tabla 2.13 se nombran los componentes que conforman la alternativa seleccionada.

Tabla 2.13 Alternativa 5

Función	Componente
Seleccionar procesos	HMI
Controlar procesos	Controlador Festo CECC
Permitir paso de fluidos	Válvulas de mariposa con accionamiento neumático/solenoide
Medir nivel	Transmisor de nivel ES2

CAPÍTULO III

DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA RED DE TUBERÍAS Y DIMENSIONAMIENTO DE BOMBAS

3 DISEÑO MECÁNICO

El sistema de tuberías y bombeo se divide en dos secciones como se muestra en la Figura 35 y 36.

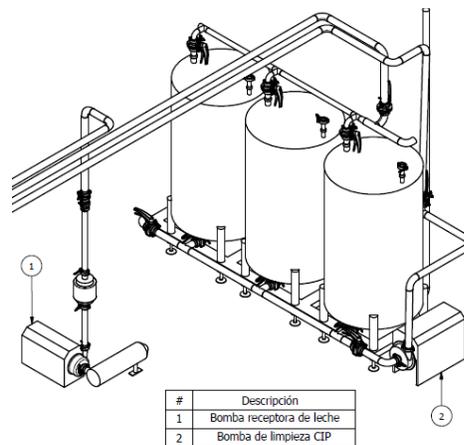


Figura 35. Sistema de silos y bombeo de leche y sustancias CIP

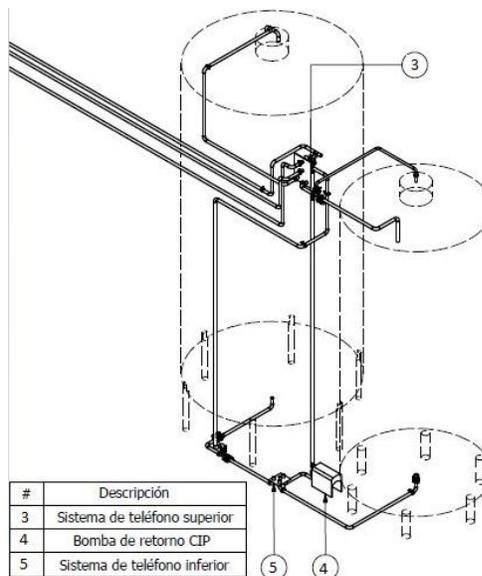


Figura 36. Sistema de almacenaje de leche y retorno de sustancias CIP

Este sistema fue utilizado anteriormente por la empresa para realizar los procesos de almacenaje y envío de leche a producción, como la limpieza CIP de todo el sistema. La bomba receptora de leche (1) es la encargada de transportar la leche desde un tanquero pasando por el sistema de teléfono superior (3), este es maniobrado por un operario y se encarga de direccionar el flujo de leche a uno de los dos silos de la Figura 37. La bomba de limpieza CIP (2) es la encargada de transportar las sustancias de limpieza hacia los silos de almacenamiento, también pasando por (3), en este caso hacia el silo que no está siendo ocupado. Mientras se ejecuta la limpieza del silo, las sustancias se retornan inmediatamente pasando por el sistema de teléfono inferior (5) también manipulado por un operario y siendo transportados por la bomba de retorno CIP (4) hacia los silos de la Figura 37.

Bajo la necesidad de ampliar la capacidad de almacenaje de leche con la implementación de tres silos con una capacidad de 50000 litros, se rediseño la red de tuberías para realizar las operaciones de almacenaje de leche, limpieza y retorno CIP y ejecutarlas simultáneamente.

En la Figura 37 se muestra la nueva red de tuberías a implementar.

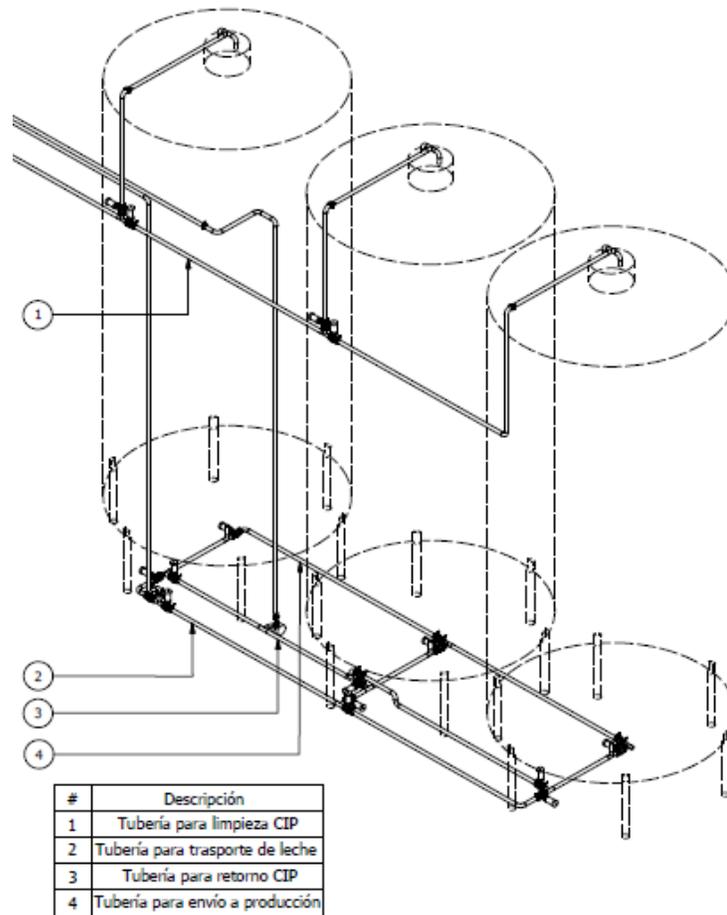


Figura 37. Sistema de tres silos con nueva red de tuberías

Este nuevo diseño de la red de tuberías permite realizar las operaciones de almacenaje de leche, limpieza y retorno CIP al mismo tiempo, debido a la implementación de válvulas neumáticas controladas, este tema se explicará más adelante en la parte de control y programación. La tubería para limpieza CIP (1) permite el paso de las sustancias directamente al silo seleccionado sin tener que pasar por el sistema de teléfono superior, a su vez, la tubería para retorno CIP (3) se encarga de transportar las sustancias de limpieza hacia la bomba para retornarla a sus respectivos silos vistos en la Figura 36, la tubería para transporte de leche (2) permite el paso de leche directamente a cualquiera de los tres silos, así mismo la tubería para envío a producción (4) transporta la leche almacenada en cualquier silo hacia la parte de producción de la fábrica.

Al implementar nuevos tramos de tuberías y accesorios como: codos, tuberías en T, válvulas de mariposa, válvulas de retención, es necesario calcular las pérdidas que se producen en estas para así encontrar la potencia exacta de las bombas que realizan los procesos de bombeo de leche, limpieza y retorno CIP.

3.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILO UNO

En el cálculo de pérdidas de carga se analizan las pérdidas de energía expresada en dimensiones de longitud, presentes a lo largo de los tramos de tubería y accesorios.

3.1.1 NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa [49] calculada por (1).

$$N_R = \frac{v \cdot D_i \cdot \rho}{\eta} \quad (1)$$

Donde:

N_R .- Número de Reynolds

v .- Velocidad del fluido, en $\frac{m}{s}$;

D_i .- Diámetro interno de la tubería, en m ;

ρ .- Densidad del fluido, en $\frac{kg}{m^3}$

η .- Viscosidad dinámica, en $Pa \cdot s$.

Al calcular este parámetro se debe comparar con el número de Reynolds críticos [50] para conocer con qué tipo de flujo se ha de trabajar.

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar

$2000 < N_R < 4000$, el flujo está en un punto de transición

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento

En la Tabla 3.1 se observan las longitudes de los tramos de tuberías utilizadas durante el almacenaje de leche en el silo uno.

Tabla 3.1 Longitud de tuberías para el almacenaje de leche en el silo uno

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]
3	0,0485
1,54	0,0356
1,37	0,0485
0,15	0,0485
6	0,0485
4	0,0485
12	0,0485
7,5	0,0485
4,75	0,0485
0,05	0,0485
0,24	0,0485
0,46	0,0485
1,12	0,0485
6,37	0,0485

Como se observa en la tabla anterior existen dos diámetros internos diferentes por lo que se deben calcular dos números de Reynolds.

La velocidad del fluido se obtiene mediante (2).

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Donde:

Q .- Caudal, en $\frac{m^3}{s}$;

v .- Velocidad, en $\frac{m}{s}$;

A .- Área, en m^2 .

Calculando para el diámetro de 0,0485 y reemplazando valores en (2) se obtiene:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{30000 \frac{l}{h} \cdot \frac{1m^3}{1000l} \cdot \frac{1h}{3600s}}{\pi \cdot \frac{(0,0485 m)^2}{4}}$$

$$v = 4,5107 \frac{m}{s}$$

Calculando para el diámetro de 0.0356 y reemplazando valores en (2) se obtiene:

$$v = \frac{30000 \frac{l}{h} \cdot \frac{1m^3}{1000l} \cdot \frac{1h}{3600s}}{\pi \cdot \frac{(0,0356 m)^2}{4}}$$

$$v = 8,3720 \frac{m}{s}$$

En la Tabla 3.2 se muestra en resumen los datos obtenidos anteriormente.

Tabla 3.2 Diámetros y velocidades

Diámetro [m]	Velocidad [$\frac{m}{s}$]
0,0485	4,5107
0,0356	8,3720

Con estas dos velocidades y reemplazando en (1) se obtiene los siguientes números de Reynolds.

$$N_R = \frac{4,5107 \frac{m}{s} \cdot 0,0485 m \cdot 1030 \frac{kg}{m^3}}{1,2 \times 10^{-3} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 187776,6821$$

$$N_R = \frac{8,3720 \frac{m}{s} \cdot 0,0356 m \cdot 1030 \frac{kg}{m^3}}{1,2 \times 10^{-3} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 255820,4133$$

En la Tabla 3.3 se muestra si el flujo es laminar, en transición o turbulento.

Tabla 3.3 Número de Reynolds y tipo de flujo

Diámetro [m]	Número de Reynolds	Flujo
0,0485	187776,6821	Turbulento
0,0356	255820,4133	Turbulento

Como se observa los dos números de Reynolds son mayores a 4000 por lo que el fluido que viaja por las tuberías es de tipo turbulento.

Para el cálculo de las pérdidas de energía en las tuberías se hace uso de la ecuación de Darcy [51], (3).

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Donde:

h_L .- Pérdida de energía debido a la fricción, en m;

L .- Longitud de la tubería, en m;

D .- Diámetro interno de la tubería, en m;

v .- Velocidad del fluido en la tubería, en $\frac{m}{s}$;

g .- Gravedad, en $\frac{m}{s^2}$;

f .- Coeficiente de fricción, adimensional.

La mayoría de los términos descritos para la ecuación de Darcy son conocidos, excepto el coeficiente de fricción. Para su determinación es necesario el número de Reynolds y el tipo de flujo, los cuales han sido calculados anteriormente. Existen dos maneras de obtener el coeficiente de fricción, la primera es por el diagrama de Moody como se observa en la Figura 38.

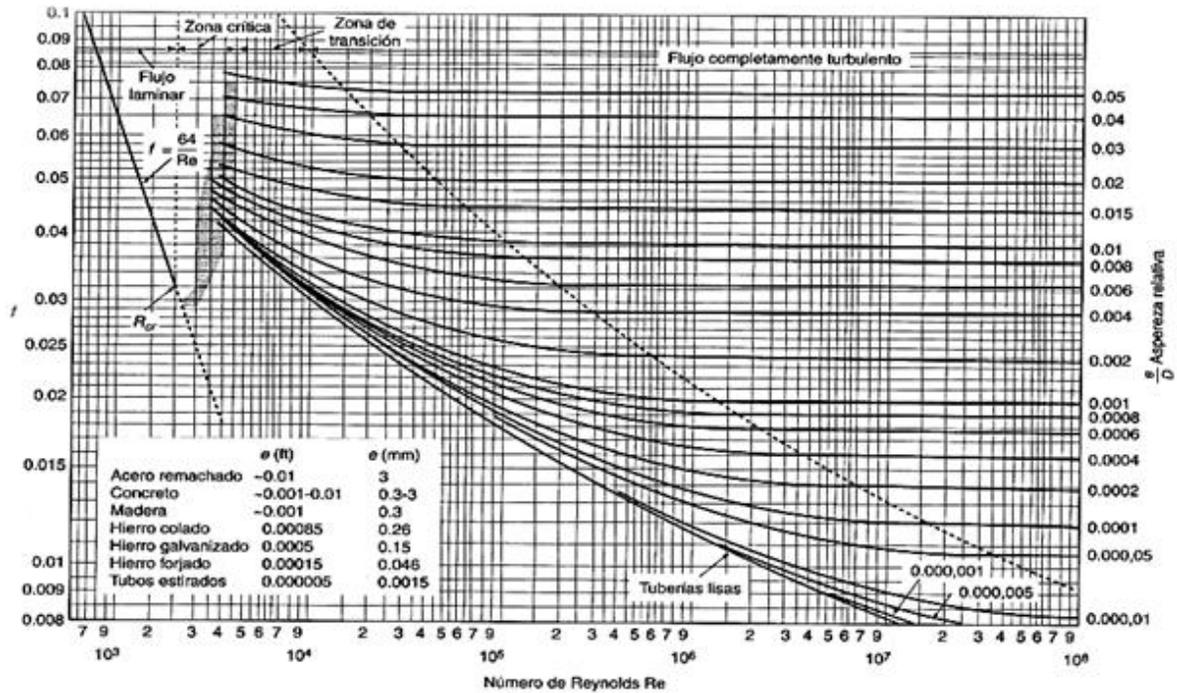


Figura 38. Diagrama de Moody
Fuente:ebah, [52]

La segunda forma de cálculo es mediante diferentes modelos matemáticos con diferentes rangos de aplicaciones. El método por el que se optó fue el de Pavlov (4) el cual puede ser utilizado en aplicaciones académicas y en el campo profesional como se menciona en [53].

$$f = \left\{ -2 \log \left[\frac{1}{3.7} \left(\frac{\varepsilon}{Di} \right) + \left(\frac{6.81}{N_R} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad (4)$$

Donde:

ε .- Rugosidad absoluta, en mm;

Di .- Diámetro interno de la tubería, en mm;

N_R .- Número de Reynolds, adimensional.

El material de las tuberías es de acero inoxidable 316, con una rugosidad superficial tanto externa como interna de 20 a 32 Ra bajo norma ASME/AISI B46. Para este cálculo se va a trabajar con 32 Ra que equivaldría a una rugosidad total o absoluta de

0,004 mm y reemplazando en (4) se obtiene el coeficiente de fricción para ambos diámetros de tuberías.

Para tubería de 48,5 mm

$$f = \left\{ -2 \log \left[\frac{1}{3,7} \left(\frac{0,004 \text{ mm}}{48,5 \text{ mm}} \right) + \left(\frac{6,81}{187776,6821} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

$$f = 0,0164$$

Para tubería de 35,6 mm

$$f = \left\{ -2 \log \left[\frac{1}{3,7} \left(\frac{0,004 \text{ mm}}{35,6 \text{ mm}} \right) + \left(\frac{6,81}{255820,4133} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

$$f = 0,0158$$

3.1.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TRAMOS DE TUBERÍA PARA SILO UNO

Con los coeficientes de fricción calculados anteriormente se procede a calcular las pérdidas de carga en cada tramo tubería descrita en la Tabla 3.1. Reemplazando valores en (3) se obtiene:

Pérdidas tramo 1

$$h_{L1} = 0,0164 \cdot \frac{3 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L1} = 1,05 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 2

$$h_{L2} = 0,0158 \cdot \frac{1,54 \text{ m}}{0,0356 \text{ m}} \cdot \frac{\left(8,372 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L2} = 2,451 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 3

$$h_{L3} = 0,0164 \cdot \frac{1,37 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L3} = 0,48 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 4

$$h_{L4} = 0,0164 \cdot \frac{0,15 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L4} = 0,053 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 5

$$h_{L5} = 0,0164 \cdot \frac{6 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L5} = 2,1 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 6

$$h_{L6} = 0,0164 \cdot \frac{4 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L6} = 1,4 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 7

$$h_{L7} = 0,0164 \cdot \frac{12 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L7} = 4,2 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 8

$$h_{L8} = 0,0164 \cdot \frac{7,5 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L8} = 2,625 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 9

$$h_{L9} = 0,0164 \cdot \frac{4,75 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L9} = 1,6674 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 10

$$h_{L10} = 0,0164 \cdot \frac{0,05 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L10} = 0,0018 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 11

$$h_{L11} = 0,0164 \cdot \frac{0,24 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L11} = 0,0842 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 12

$$h_{L12} = 0,0164 \cdot \frac{0,46 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L12} = 0,1615 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 13

$$h_{L13} = 0,0164 \cdot \frac{1,12 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L13} = 0,3931 \text{ m}$$

Pérdidas tramo 14

$$h_{L14} = 0,0164 \cdot \frac{6,37 \text{ m}}{0,0485 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,5107 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{L14} = 2,236 \text{ m}$$

$$h_{L\text{tuberías}} = \sum h_L$$

$$h_{L\text{tuberías}} = 18,903 \text{ m}$$

3.1.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS SILO UNO

Aun conociendo las pérdidas de carga en los tramos de tubería no se puede conocer aún la potencia de la bomba debido a que se tiene que tomar en cuenta las pérdidas de carga que ocurren en los accesorios como los codos, tuberías en T y válvulas.

Para calcular las pérdidas de los accesorios, es necesario conocer el coeficiente de fricción cuyo dato ha sido calculado y el coeficiente de resistencia K. El valor de K viene dado por (5).

$$K = \frac{L_e}{D} \cdot f \quad (5)$$

Donde:

K .- Coeficiente de resistencia, adimensional;

$\frac{L_e}{D}$.- Relación de longitud equivalente, adimensional;

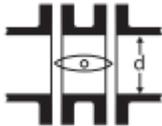
f .- Coeficiente de fricción, adimensional.

Al obtener el coeficiente de resistencia K se calcula las pérdidas de carga mediante (6).

$$h_l = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

3.1.3.1 Pérdidas de carga en válvulas de mariposa

Para conocer el coeficiente de resistencia de las válvulas de mariposa se tomó el dato de [54] como se observa en la Figura 39.



Size Range	Centric
2" - 8"	$K=45f_T$

Figura 39. Coeficiente K de una válvula de mariposa
Fuente: CraneNuclear, [66]

El número de válvulas situadas a lo largo de la red de tuberías para el silo uno es de 6 válvulas de mariposa y reemplazando valores en (5) se obtiene:

$$K_{v\u00e1lvulas} = 45 \cdot 0,0164$$

$$K_{v\u00e1lvulas} = 0,738$$

Usando (6) se conoce las pérdidas de carga en todas las válvulas.

$$h_{lv\u00e1lvulas} = 0,738 \cdot \frac{(4,5107 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} \cdot 7$$

$$h_{lv\u00e1lvulas} = 5,3627m$$

3.1.3.2 Pérdidas de carga en codos y tuberías en T

Para el cálculo de pérdidas de carga en codos y tuberías en T se utilizan los datos proporcionados por [55]. Reemplazando valores en (5) y (6) se obtiene las pérdidas en ambos accesorios.

Pérdidas codos

$$K_{\text{codos}} = 20 \cdot 0,0164$$

$$K_{\text{codos}} = 0,328$$

$$h_{\text{lcodos}} = 0,328 \cdot \frac{(4,5107 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} \cdot 13$$

$$h_{\text{lcodos}} = 4,4264 \text{ m}$$

Pérdidas Tuberías en T.- flujo directo

$$K_{\text{ltuberías T}} = 20 \cdot 0,0164$$

$$K_{\text{ltuberías T}} = 0,328$$

$$h_{\text{ltuberías T}} = 0,328 \cdot \frac{(4,5107 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} \cdot 4$$

$$h_{\text{ltuberías T}} = 1,362 \text{ m}$$

Pérdidas Tuberías en T.- flujo en el ramal

$$K_{\text{tuberías T ramal}} = 60 \cdot 0,0164$$

$$K_{\text{tuberías T ramal}} = 0,984$$

$$h_{\text{ltuberías T ramal}} = 0,984 \cdot \frac{(4,5107 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{\text{ltuberías T ramal}} = 1,0215 \text{ m}$$

Como se conocen todas las pérdidas de carga de tramos de tuberías y accesorios se suman todas éstas para obtener las pérdidas totales.

$$H_T = h_{\text{Ltuberías}} + h_{\text{lválvulas}} + h_{\text{lcodos}} + h_{\text{ltuberías T}} + h_{\text{ltuberías T ramal}}$$

$$H_T = 31,0756 \text{ m}$$

3.1.4 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL SILO UNO

Para el cálculo de la potencia de una bomba es necesario conocer el punto de inicio desde donde se inicia el bombeo del líquido hasta el punto final donde se deposite este. Para esto se usa la ecuación general de la energía (7) [56].

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - H_T - h_R = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (7)$$

Donde:

$\frac{P}{\gamma}$.- Carga de presión, en m;

$\frac{v^2}{2g}$.- Carga de velocidad, en m;

Z.- Carga de elevación, en m;

h_A .- Energía que se agrega al fluido, en m;

h_R .- Energía que se remueve del fluido, en m;

H_T .- Pérdidas de carga, en m.

En la Figura 40 se observa un esquema donde se detallan los parámetros de altura Z necesarios para el uso de la ecuación de la energía.

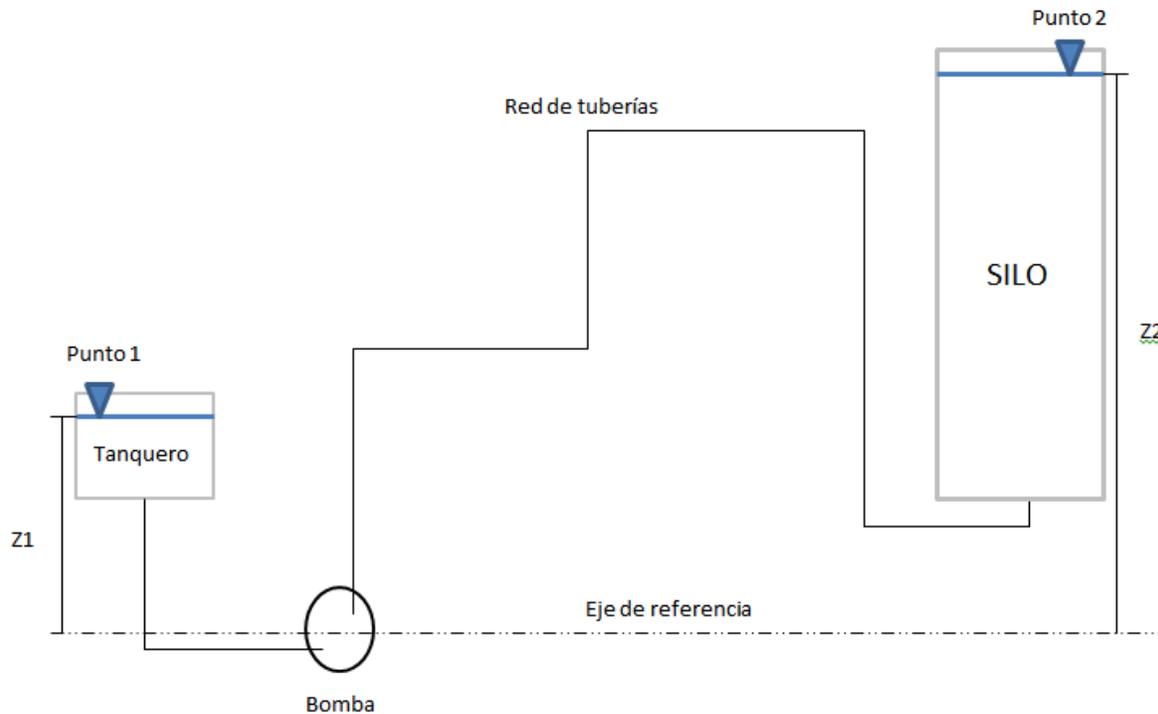


Figura 40. Red de tubería para la ecuación de la energía

Teniendo este esquema y reemplazando en (7) se obtiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - H_T = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Las presiones P_1 y P_2 son cero debido a que los puntos de referencia se encuentran en la superficie de los fluidos, así las velocidades son cero ya que los fluidos en los puntos de referencia se encuentran estáticos, el término h_R es cero ya que no existe un dispositivo mecánico que remueva energía del fluido a lo largo de las tuberías.

Despejamos h_A debido a que se necesita saber la energía aplicada al fluido.

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + H_T$$

$$h_A = (8,6 \text{ m} - 2,5 \text{ m}) + 31,0756 \text{ m}$$

$$h_A = 37,1756 \text{ m}$$

Adicional a esto se considera una altura de seguridad de 2 metros obteniendo:

$$h_A = 37,1756 \text{ m} + 2 \text{ m}$$

$$h_A = 39,1756 \text{ m}$$

Para obtener la potencia la bomba se utiliza (8).

$$P_A = h_A \cdot Q \cdot \gamma \quad (8)$$

Donde:

P_A .- Potencia que se agrega al fluido, en N;

h_A .- Energía que se agrega al fluido, en m;

Q .- Caudal, en $\frac{m^3}{s}$;

γ .- Peso específico del fluido, en $\frac{N}{m^3}$.

Reemplazando valores en (8) se obtiene:

$$P_A = 39,1756 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{m^3}{s} \cdot 1030 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$P_A = 3,294 \text{ kW}$$

Esta sería la potencia que la bomba suministraría al fluido para realizar todo el recorrido desde el tanquero hasta el silo, pero debido a las pérdidas de energía por fricción mecánica de la bomba, fricción del fluido y turbulencia en esta, no toda la potencia de entrada se transmite al fluido por lo que se necesita la eficiencia mecánica de la bomba [69]. Para esto se usa (9).

$$P_I = \frac{P_A}{e_M} \quad (9)$$

Donde:

P_I .- Potencia de entrada a la bomba, en kW;

e_M .- Eficiencia mecánica, adimensional.

La eficiencia mecánica de una bomba centrífuga utilizada para este cálculo es de 0,6 obtenida del Anexo 2. Reemplazando en (8) se obtiene:

$$P_I = \frac{3,294 \text{ kW}}{0,6}$$

$$P_I = 5,49 \text{ kW}$$

$$P_I = 7,36 \text{ Hp}$$

Esta potencia sería la adecuada para que la bomba entregue la energía suficiente al fluido y así vencer todas las pérdidas a lo largo de las tuberías y accesorios permitiendo llenar el tanque hasta su máxima capacidad.

3.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILO DOS

El cálculo para esta red de tuberías del silo dos se efectúa de igual manera que la del silo uno. Cabe mencionar que el número de Reynolds se mantiene constante debido al uso del mismo fluido el cual es la leche.

En la Tabla 3.4 se observa las nuevas longitudes de la red de tuberías para el silo dos

Tabla 3.4 Longitud de tuberías para el almacenaje de leche en el silo dos

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]
3	0,0485
1,54	0,0356
1,37	0,0485
0,15	0,0485
6	0,0485
4	0,0485
12	0,0485
7,5	0,0485
4,75	0,0485
0,05	0,0485

0,24	0,0485
0,46	0,0485
0,996	0,0485
6,37	0,0485

3.2.1 CÁLCULO PÉRDIDAS DE CARGA EN TRAMOS DE TUBERÍAS PARA SILO DOS

Al conocer el número de Reynolds y el proceso de cálculo de las pérdidas de carga en los tramos de tuberías explicado anteriormente, se observa en la Tabla 3.5 todas estas pérdidas aplicando (3).

Tabla 3.5 Pérdidas de carga en los tramos de tuberías para silo dos

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L , [m]
3	0,0485	0,0164	1,0531
1,54	0,0356	0,0158	2,4442
1,37	0,0485	0,0164	0,4809
0,15	0,0485	0,0164	0,0527
6	0,0485	0,0164	2,1061
4	0,0485	0,0164	1,4041
12	0,0485	0,0164	4,2123
7,5	0,0485	0,0164	2,6327
4,75	0,0485	0,0164	1,6674
0,05	0,0485	0,0164	0,0176
0,24	0,0485	0,0164	0,0842
0,46	0,0485	0,0164	0,1615
0,996	0,0485	0,0164	0,3496
6,36	0,0485	0,0164	2,236

$$h_{L\text{tuberías}} = \sum h_L$$

$$h_{L\text{tuberías}} = 18,9024 \text{ m}$$

3.2.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS SILO DOS

En la Tabla 3.6 se observa los parámetros más importantes para el cálculo, así como, las pérdidas para cada accesorio.

Tabla 3.6 Pérdidas de carga en accesorios para silo dos

Accesorios	Cantidad	Coefficientes de fricción	Pérdidas de carga h_l , [m]
Válvulas de mariposa 2"	7	0,738	5,3627
Codo a 90° radio largo 2"	12	0,328	4,0859
Tubería en T (flujo directo) 2"	4	0,328	1,362
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	2	0,984	2,0429

$$h_{l \text{ accesorios}} = \sum h_l$$

$$h_{l \text{ accesorios}} = 12,8535 \text{ m}$$

3.2.3 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL SILO DOS

El cálculo y parámetros para la potencia de la bomba son las mismas utilizadas en la sección 3.1.4, a excepción de las nuevas pérdidas de carga para esta red de tuberías. Usando la ecuación de la energía se obtiene la energía que se agrega al fluido.

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + h_{l \text{ tuberías}} + h_{l \text{ accesorios}} + h_{\text{seguridad}}$$

$$h_A = (8,6 \text{ m} - 2,5 \text{ m}) + 18,9024 \text{ m} + 12,8535 \text{ m} + 2 \text{ m}$$

$$h_A = 39,8559 \text{ m}$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 39,8559 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 3,3512 \text{ kW}$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,6 se obtiene la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{3,3512 \text{ kW}}{0,6}$$

$$P_I = 5,5853 \text{ kW}$$

$$P_l = 7,48 \text{ Hp}$$

3.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILO TRES

En la Tabla 3.7 se observa los tramos de tuberías que componen el transporte del fluido al silo tres, así como, sus pérdidas de carga.

Tabla 3.7 Pérdidas de carga en los tramos de carga para el silo tres

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L , [m]
3	0,0485	0,0164	1,0531
1,54	0,0356	0,0158	2,4442
1,37	0,0485	0,0164	0,4809
0,15	0,0485	0,0164	0,0527
6	0,0485	0,0164	2,1061
4	0,0485	0,0164	1,4041
12	0,0485	0,0164	4,2123
7,5	0,0485	0,0164	2,6327
4,75	0,0485	0,0164	1,6674
0,05	0,0485	0,0164	0,0176
0,24	0,0485	0,0164	0,0842
0,46	0,0485	0,0164	0,1615
0,520	0,0485	0,0164	0,1825
6,37	0,0485	0,0164	2,236

$$h_{L\text{tuberías}} = \sum h_L$$

$$h_{L\text{tuberías}} = 18,5711 \text{ m}$$

3.3.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS SILO TRES

En la Tabla 3.8 se observa los parámetros más importantes para el cálculo, así como, las pérdidas para cada accesorio.

Tabla 3.8 Pérdidas de carga en accesorios para silo tres

Accesorios	Cantidad	Coefficientes de fricción	Pérdidas de carga h_l , [m]
Válvulas de mariposa 2"	7	0,738	5,3627
Codo a 90° radio largo 2"	12	0,328	4,4264
Tubería en T (flujo directo) 2"	4	0,328	1,362
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	1	0,984	1,0215

$$h_{l \text{ accesorios}} = \sum h_l$$

$$h_{l \text{ accesorios}} = 12,1726 \text{ m}$$

3.3.2 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL SILO TRES

El cálculo y parámetros para la potencia de la bomba son las mismas utilizadas en la sección 3.1.4, a excepción de las nuevas pérdidas de carga para esta red de tuberías. Usando la ecuación de la energía se obtiene la energía que se agrega al fluido.

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + h_{L \text{ tuberías}} + h_{l \text{ accesorios}} + h_{\text{seguridad}}$$

$$h_A = (8,6 \text{ m} - 2,5 \text{ m}) + 18,5711 \text{ m} + 12,1726 + 2 \text{ m}$$

$$h_A = 38,8437 \text{ m}$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 38,8437 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 3,2661 \text{ kW}$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,6 se obtiene la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{3,2661 \text{ kW}}{0,6}$$

$$P_I = 5,4435 \text{ kW}$$

$$P_I = 7,3 \text{ Hp}$$

En la Tabla 3.9 se muestra cada pérdida y potencia de las bombas respectivas de cada red de tuberías para el almacenaje de leche.

Tabla 3.9 Pérdidas totales y potencias de bomba para cada silo

	Pérdidas totales [m]	Potencia de Bombas [Hp]	Potencia de Bombas [kW]
Silo uno	39,1756	7,36	5,49
Silo dos	39,8559	7,48	5,58
Silo tres	38,8437	7,3	5,45

Comparando los valores de la potencia de ingreso de las bombas para cada red de tuberías se observa que la potencia ideal para todo el sistema de transporte y almacenaje de leche es de 7,48 Hp. Al utilizar esta potencia se satisface las pérdidas de carga en cualquier red de tuberías descritas con anterioridad.

3.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED DE TUBERÍAS PARA RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP EN SILO UNO

La limpieza CIP consta de tres sustancias como lo son la sosa, ácido nítrico y agua que se distribuye por la red de tuberías que se desea limpiar. Para realizar los cálculos de pérdidas de carga se debe comparar la dilución de la sosa y ácido en agua, así como, la temperatura en la que se encuentran. En la Tabla 3.10 se muestra estos datos que ayudaran a definir los parámetros que se utilizaran en los cálculos de pérdidas.

Tabla 3.10 Datos de trabajo de las sustancias CIP

Sustancias	Dilución en agua, %	Temperatura de trabajo, °C	Viscosidad, Pa*s
Agua	-	20	$1,02 \times 10^{-3}$
Sosa	Agua 99% - Sosa 1%	80	$3,57 \times 10^{-4}$
Ácido nítrico	Agua 99% - Sosa 1%	80	$5,42 \times 10^{-4}$

Teniendo estos datos y al observar la viscosidad de cada sustancia se determina el dato más crítico y a utilizar para el cálculo del número de Reynolds.

3.4.1 NÚMERO DE REYNOLDS Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Utilizando (1) y reemplazando datos se obtiene el número de Reynolds:

Número de Reynolds para 2”:

$$N_R = \frac{4.5107 \frac{m}{s} \cdot 0,0485 m \cdot 998,2 \frac{kg}{m^3}}{1,02 \times 10^{-3} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 214093,3$$

Número de Reynolds para 1,5”:

$$N_R = \frac{8,372 \frac{m}{s} \cdot 0,0356 m \cdot 998,2 \frac{kg}{m^3}}{1,02 \times 10^{-3} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 291673,2571$$

En la Tabla 3.11 se muestra si el flujo es laminar, en transición o turbulento.

Tabla 3.11 Número de Reynolds y tipo de flujo

Diámetro [m]	Número de Reynolds	Flujo
0,0485	214093,3	Turbulento
0,0356	291673,2571	Turbulento

Con este resultado y utilizando (4) se obtiene el coeficiente de fricción:

$$f = \left\{ -2 \log \left[\frac{1}{3,7} \left(\frac{0,004 \text{ mm}}{48,5 \text{ mm}} \right) + \left(\frac{6,81}{214093,3} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

$$f = 0,016$$

$$f = \left\{ -2 \log \left[\frac{1}{3,7} \left(\frac{0,004 \text{ mm}}{35,6 \text{ mm}} \right) + \left(\frac{6,81}{219673,2571} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2}$$

$$f = 0,0162$$

3.4.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA EL RETORNO CIP DEL SILO UNO

En la Tabla 3.12 se muestra las pérdidas de cada tubería que compone el retorno CIP desde el silo uno.

Tabla 3.12 Pérdidas de carga en los tramos de retorno CIP para el silo uno

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L, [m]
1,12	0,0485	0,016	0,3836
6,3939	0,0485	0,016	2,1897
6,7065	0,0485	0,016	2,2967
8,6	0,0485	0,016	2,9452
12	0,0485	0,016	4,1095
4	0,0485	0,016	1,3698
5,1	0,0485	0,016	1,7465
0,5	0,0485	0,016	0,1712
0,42	0,0485	0,016	0,1438
0,36	0,0485	0,016	0,1233

0,054	0,0485	0,016	0,0185
1,78	0,0356	0,0162	2,8966
0,22	0,0356	0,0162	0,358

$$\sum h_{tuberías} = 18,9186 \text{ m}$$

3.4.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA EL RETORNO CIP DEL SILO UNO

En la Tabla 3.13 se muestra las pérdidas en accesorios.

Tabla 3.13 Pérdidas de carga en accesorios para retorno CIP del silo uno

	Cantidad	Coefficientes de fricción	Pérdidas de carga h_l , [m]
Válvulas de mariposa 2"	7	0,72	5,2319
Codo a 90° radio largo 2"	15	0,32	4,9828
Tubería en T (flujo directo) 2"	6	0,32	1,9931
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	4	0,96	3,9862
Codo a 90° radio largo 1,5"	1	0,32	1,1443
Válvulas de mariposa 1,5"	1	0,72	2,5747

$$\sum h_{accesorios} = 19,913 \text{ m}$$

3.4.4 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP SILO UNO

$$h_A = (1,54 - 7,62 \text{ m}) + \sum h_{tuberías} + \sum h_{accesorios} + 2 \text{ m}$$

$$h_A = 34,7516 \text{ m}$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 34,7516 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 2,8318 \text{ kW}$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,5 se obtiene la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{2,8318 \text{ kW}}{0,55}$$

$$P_I = 4,8892 \text{ kW}$$

$$P_I = 6,55 \text{ Hp}$$

3.5 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA EL RETORNO CIP DEL SILO DOS

En la Tabla 3.14 se muestra las pérdidas de cada tubería que compone el retorno CIP desde el silo dos

Tabla 3.14 Pérdidas de carga en los tramos de retorno CIP para el silo dos

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L , [m]
0,996	0,0485	0,016	0,3411
6,3939	0,0485	0,016	2,1897
6,7065	0,0485	0,016	2,2967
8,6	0,0485	0,016	2,9452
12	0,0485	0,016	4,1095
4	0,0485	0,016	1,3698
5,1	0,0485	0,016	1,7465
0,5	0,0485	0,016	0,1712
0,42	0,0485	0,016	0,1438
0,36	0,0485	0,016	0,1233
0,054	0,0485	0,016	0,0185
1,78	0,0356	0,0162	2,8966
0,22	0,0356	0,0162	0,358

$$\sum h_{tuberías} = 18,7099 \text{ m}$$

3.5.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA EL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS

En la Tabla 3.14 se muestra las pérdidas en accesorios.

Tabla 3.15 Pérdidas de carga en accesorios para retorno CIP del silo dos

Accesorios	Cantidad	Coefficientes de fricción	Pérdidas de carga h_l , [m]
Válvulas de mariposa 2"	7	0,72	5,2319
Codo a 90° radio largo 2"	15	0,32	4,9828
Tubería en T (flujo directo) 2"	5	0,32	1,6609
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	4	0,96	3,9862
Codo a 90° radio largo 1,5"	1	0,32	1,1443
Válvulas de mariposa 1,5"	1	0,72	2,5747

$$\sum h_{\text{accesorios}} = 19,5808 \text{ m}$$

3.5.2 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL RETORNO CIP SILO DOS

$$h_A = (1,54 - 7,62 \text{ m}) + \sum h_{\text{tuberías}} + \sum h_{\text{accesorios}} + 2 \text{ m}$$

$$h_A = 34,2107$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 34,2107 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 2,7877 \text{ kW}$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,55 se obtiene la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{2,7877 \text{ kW}}{0,55}$$

$$P_I = 4,8649 \text{ kW}$$

$$P_I = 6,52 \text{ Hp}$$

3.5.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA EL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES

En la Tabla 3.16 se muestra las pérdidas de cada tubería que compone el retorno CIP desde el silo tres.

Tabla 3.16 Pérdidas de carga en los tramos de retorno CIP para el silo tres

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L , [m]
0,52	0,0485	0,016	0,1781
6,3939	0,0485	0,016	2,1897
6,7065	0,0485	0,016	2,2967
8,6	0,0485	0,016	2,9452
12	0,0485	0,016	4,1095
4	0,0485	0,016	1,3698
5,1	0,0485	0,016	1,7465
0,5	0,0485	0,016	0,1712
0,42	0,0485	0,016	0,1438
0,36	0,0485	0,016	0,1233
0,054	0,0485	0,016	0,0185
1,78	0,0356	0,0162	2,8966
0,22	0,0356	0,0162	0,358

$$\sum h_{tuberías} = 18,5463 \text{ m}$$

3.5.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA EL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES

En la Tabla 3.17 se muestra las pérdidas en accesorios.

Tabla 3.17 Pérdidas de carga en accesorios para retorno CIP del silo tres

Accesorios	Cantidad	Coeficientes de fricción	Pérdidas de carga h_L , [m]
Válvulas de mariposa 2"	7	0,72	5,2319
Codo a 90° radio largo 2"	15	0,32	4,9828
Tubería en T (flujo directo) 2"	5	0,32	1,6609
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	4	0,96	3,9862
Codo a 90° radio largo 1,5"	1	0,32	1,1443

Válvulas de mariposa 1,5"	1	0,72	2,5747
---------------------------	---	------	--------

$$\sum h_{\text{accesorios}} = 19,5808 \text{ m}$$

3.5.5 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DEL RETORNO DE SUSTANCIAS DE LIMPIEZA CIP SILO TRES

$$h_A = (1,54 - 7,62 \text{ m}) + \sum h_{\text{tuberías}} + \sum h_{\text{accesorios}} + 2 \text{ m}$$

$$h_A = 34,0471$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 34,0471 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 2,7744 \text{ kW}$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,55 se obtiene la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{2,7744 \text{ kW}}{0,55}$$

$$P_I = 4,8463 \text{ kW}$$

$$P_I = 6,5 \text{ Hp}$$

En la Tabla 3.18 se muestra cada pérdida y potencia de las bombas respectivas de cada de red de tuberías para el retorno CIP.

Tabla 3.18 Pérdidas totales y potencias de bomba para cada silo

	Pérdidas totales [m]	Potencia de Bombas [Hp]	Potencia de Bombas [kW]
Silo uno	34,7516	6,55	4,89
Silo dos	34,2107	6,52	4,86
Silo tres	34,0471	6,5	4,85

3.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO UNO

En la Tabla 3.19 se muestra las pérdidas de cada tubería que compone limpieza CIP del silo uno.

Tabla 3.19 Pérdidas de carga en tramos de tuberías para limpieza CIP del silo uno

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L , [m]
2,1	0,0485	0,016	0,7192
0,17	0,0485	0,016	0,0582
0,2	0,0485	0,016	0,0685
0,62	0,0485	0,016	0,2123
0,55	0,0485	0,016	0,1884
0,87	0,0485	0,016	0,2979
1,3	0,0485	0,016	0,4452
0,2	0,0485	0,016	0,0685
0,52	0,0485	0,016	0,1781
5	0,0485	0,016	1,7123
3,5	0,0485	0,016	1,1986
12	0,0485	0,016	4,1095
6,38	0,0485	0,016	2,1849
9,083	0,0485	0,016	3,1106

$$\sum h_{tuberías} = 14,5522m$$

3.6.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO UNO

En la Tabla 3.20 se muestra las pérdidas en accesorios.

Tabla 3.20 Pérdidas de carga en accesorios para limpieza CIP del silo uno

Accesorios	Cantidad	Coefficientes de fricción	Pérdidas de carga h_L , [m]
Válvulas de mariposa 2"	7	0,72	5,2319
Codo a 90° radio largo 2"	13	0,32	4,3184
Tubería en T (flujo directo) 2"	4	0,32	1,3287
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	4	0,96	3,9862

$$\sum h_{\text{accesorios}} = 14,8652 \text{ m}$$

3.6.2 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DE LA LIMPIEZA CIP DEL SILO UNO

La condición para el cálculo de la potencia para esta bomba es que tenga una presión aproximada de 2,5 bar. Al existir una bifurcación al final de la tubería como se observa en la Figura 42 se debe encontrar los caudales que pasan por cada tubería, así como, sus velocidades para de esta manera calcular la pérdida de presión que existirá al final de estas.

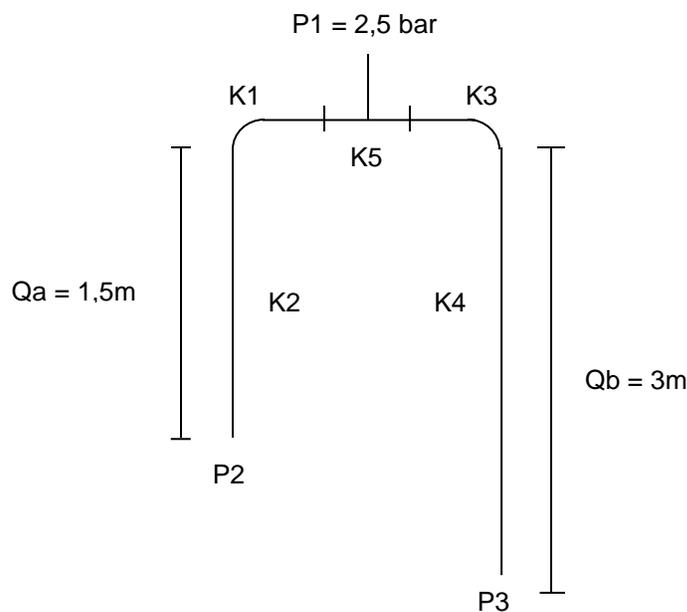


Figura 41. Tuberías paralelas en la limpieza CIP de los silos

Donde:

K1 y K3 = Codo 90 grados

K2 y K4 = Tuberías

K5 = Tubería en T

El punto P1 es donde la tubería recta se conecta con la tubería en T resultando en una bifurcación de dos tuberías paralelas, los puntos P2 y P3 son por donde las sustancias CIP tienen su salida limpiando las paredes de los silos. A continuación se realiza el cálculo para conocer la caída de presión que existe en esos dos puntos.

$$Q = 30000 \frac{L}{h} \cdot \frac{1 m^3}{1000 L} \cdot \frac{1h}{3600 s} = 0,00833 \frac{m^3}{s}$$

$$A_a = \frac{\pi \cdot (0,0485 m)^2}{4} = 0,0018 m^2$$

$$A_b = \frac{\pi \cdot (0,0485 m)^2}{4} = 0,0018 m^2$$

Tubería Qa:

$$h_a = K1 \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right) + K2 \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right) + K5 \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right)$$

$$h_a = (0,016 \cdot 20) \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right) + \left(0,016 \cdot \frac{1,5 m}{0,0485 m}\right) \left(\frac{V_a^2}{2g}\right) + (0,016 \cdot 60) \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right)$$

$$h_a = 1,7748 \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right)$$

Tubería Qb:

$$h_b = K3 \cdot \left(\frac{V_b^2}{2g}\right) + K4 \cdot \left(\frac{V_b^2}{2g}\right) + K5 \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right)$$

$$h_b = (0,016 \cdot 20) \cdot \left(\frac{V_b^2}{2g}\right) + \left(0,016 \cdot \frac{3 m}{0,0485 m}\right) \left(\frac{V_b^2}{2g}\right) + (0,016 \cdot 60) \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right)$$

$$h_b = 2,2697 \cdot \left(\frac{V_b^2}{2g}\right)$$

Cálculo de las velocidades en las tuberías Qa y Qb:

$$h_a = h_b$$

$$1,7748 \cdot \left(\frac{V_a^2}{2g}\right) = 2,2697 \cdot \left(\frac{V_b^2}{2g}\right)$$

$$V_a = 1,1309 V_b$$

$$Q = A_a V_a + A_b V_b$$

$$V_b = \frac{0,00833 \frac{m^3}{s}}{1,1309(0,0018 m^2) + 0,0018 m^2}$$

$$V_b = 2,1717 \frac{m}{s}$$

$$V_a = 2,4560 \frac{m}{s}$$

Cálculo de los caudales en las tuberías Qa y Qb:

$$Q_a = A_a V_a$$

$$Q_a = 2,4560 \frac{m}{s} \cdot 0,0018 m^2$$

$$Q_a = 0,0044 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_a = 15914,88 \frac{L}{h}$$

$$Q_b = A_b V_b$$

$$Q_b = 2,1717 \frac{m}{s} \cdot 0,0018 m^2$$

$$Q_b = 0,0039 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_b = 14072,616 \frac{L}{h}$$

Cálculo de pérdida de presión en el punto P2:

$$P1 - P2 = 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 998,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,7748 \cdot \left(\frac{(2,4560 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$P1 - P2 = 5,3431 \text{ Kpa}$$

$$P2 = 250 \text{ Kpa} - 5,3431 \text{ Kpa}$$

$$P2 = 244,6569 \text{ Kpa}$$

$$P2 = 2,44 \text{ bar}$$

Cálculo de pérdida de presión en el punto P3:

$$P1 - P2 = 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 998,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 2,2697 \cdot \left(\frac{(2,1717 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$P1 - P2 = 5,3426 \text{ Kpa}$$

$$P2 = 250 \text{ Kpa} - 5,3426 \text{ Kpa}$$

$$P2 = 244,6574 \text{ Kpa}$$

$$P2 = 2,44 \text{ bar}$$

La pérdida de presión al final de cada una de las tuberías es de aproximadamente 0,0534 bar por lo que se considera aceptable utilizar una presión inicial de 2,5 bar. Conociendo esto se calcula la potencia de la bomba para que genere esa cantidad de presión. Utilizando (7) y reemplazando valores se obtiene:

$$h_A = (Z1 - Z2) + \sum h_{accesorios} + \sum h_{tuberias} + \frac{P_2}{\gamma} + 2m$$

$$h_A = (5,5 - 1,4) + 14,5522 \text{ m} + 14,8652 \text{ m} + \frac{250 \text{ Kpa}}{998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 2 \text{ m}$$

$$h_A = 61,3322 \text{ m}$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 61,3322 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 4,9978 \text{ kW}$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,5 obtenido del Anexo 3 se calcula la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{4,9978 \text{ kW}}{0,5}$$

$$P_I = 9,9956 \text{ kW}$$

$$P_I = 13,4 \text{ Hp}$$

3.7 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS

En la Tabla 3.21 se muestra las pérdidas de cada tubería que compone limpieza CIP del silo dos.

Tabla 3.21 Pérdidas de carga en tramos de tuberías para limpieza CIP del silo dos

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L , [m]
2,1	0,0485	0,016	0,7192
0,17	0,0485	0,016	0,0582
0,2	0,0485	0,016	0,0685
0,62	0,0485	0,016	0,2123
0,55	0,0485	0,016	0,1884
0,87	0,0485	0,016	0,2979
1,3	0,0485	0,016	0,4452
0,2	0,0485	0,016	0,0685

0,52	0,0485	0,016	0,1781
5	0,0485	0,016	1,7123
3,5	0,0485	0,016	1,1986
12	0,0485	0,016	4,1095
6,38	0,0485	0,016	2,1849
12,368	0,0485	0,016	4,2355

$$\sum h_{tuberías} = 15,6771 \text{ m}$$

3.7.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS

En la Tabla 3.22 se muestra las pérdidas en accesorios.

Tabla 3.22 Pérdidas de carga en accesorios para limpieza CIP del silo dos

Accesorios	Cantidad	Coefficientes de fricción	Pérdidas de carga h_l , [m]
Válvulas de mariposa 2"	9	0,72	4,4845
Codo a 90° radio largo 2"	13	0,32	4,3184
Tubería en T (flujo directo) 2"	5	0,32	1,6609
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	4	0,96	3,9862

$$\sum h_{accesorios} = 14,45 \text{ m}$$

3.7.2 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DE LA LIMPIEZA CIP DEL SILO DOS

$$h_A = (Z1 - Z2) + \sum h_{accesorios} + \sum h_{tuberías} + \frac{P_2}{\gamma} + 2m$$

$$h_A = (5,5 - 1,4) + 15,6771 \text{ m} + 14,45 \text{ m} + \frac{250 \text{ Kpa}}{998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 2m$$

$$h_A = 61,7833 \text{ m}$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 61,7833 \text{ m} \cdot 0,00833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 5,0324 \text{ kW}$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,5 se obtiene la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{5,0324 \text{ kW}}{0,5}$$

$$P_I = 10,07 \text{ kW}$$

$$P_I = 13,5 \text{ Hp}$$

3.8 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS TRAMOS DE TUBERÍAS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES

En la Tabla 3.23 se muestra las pérdidas de cada tubería que compone limpieza CIP del silo tres.

Tabla 3.23 Pérdidas de carga en tramos de tuberías para limpieza CIP del silo tres

Tuberías, [m]	Diámetro interno, [m]	Número de Reynolds	Pérdidas de carga h_L , [m]
2,1	0.0485	0,016	0,7192
0,17	0.0485	0,016	0,0582
0,2	0.0485	0,016	0,0685
0,62	0.0485	0,016	0,2123
0,55	0.0485	0,016	0,1884
0,87	0.0485	0,016	0,2979
1,3	0.0485	0,016	0,4452
0,2	0.0485	0,016	0,0685
0,52	0.0485	0,016	0,1781
5	0.0485	0,016	1,7123
3,5	0.0485	0,016	1,1986
12	0.0485	0,016	4,1095
6,38	0.0485	0,016	2,1849
15,653	0.0485	0,016	5,3605

$$\sum h_{tuberías} = 16,8021 m$$

3.8.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS PARA LA LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES

En la Tabla 3.24 se muestra las pérdidas en accesorios.

Tabla 3.24 Pérdidas de carga en accesorios para limpieza CIP del silo tres

Accesorios	Cantidad	Coeficientes de fricción	Pérdidas de carga h_l , [m]
Válvulas de mariposa 2"	9	0,72	4,4845
Codo a 90° radio largo 2"	14	0,32	4,6506
Tubería en T (flujo directo) 2"	5	0,32	1,6609
Tubería en T (flujo en ramal) 2"	3	0,96	2,9897

$$\sum h_{accesorios} = 13,7857 m$$

3.8.2 POTENCIA DE LA BOMBA PARA RED DE TUBERÍAS DE LA LIMPIEZA CIP DEL SILO TRES

$$h_A = (Z1 - Z2) + \sum h_{accesorios} + \sum h_{tuberías} + \frac{P_2}{\gamma} + 2m$$

$$h_A = (5,5 - 1,4) + 13,7857 m + 16,8021 m + \frac{250 Kpa}{998,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} + 2m$$

$$h_A = 62,244 m$$

Al obtener h_A se procede a calcular la potencia que se agrega al fluido.

$$P_A = 62,244 m \cdot 0,00833 \frac{m^3}{s} \cdot 998,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$P_A = 5,0721 kW$$

Al usar una eficiencia mecánica de 0,5 se obtiene la potencia de ingreso de la bomba.

$$P_I = \frac{5,0721 kW}{0,5}$$

$$P_l = 10,1442 \text{ kW}$$

$$P_l = 13,6 \text{ Hp}$$

En la Tabla 3.25 se muestra cada pérdida y potencia de las bombas respectivas de cada de red de tuberías para la limpieza de silos.

Tabla 3.25 Pérdidas totales y potencias de bomba para cada silo

	Pérdidas totales [m]	Potencia de Bombas [Hp]	Potencia de Bombas [kW]
Silo uno	61,3322	13,4	9,99
Silo dos	61,7833	13,5	10,1
Silo tres	62,244	13,6	10,15

Comparando los valores de la potencia de ingreso de las bombas para cada red de tuberías se observa que la potencia ideal para todo el sistema de limpieza CIP es de 13,6 Hp. Al utilizar esta potencia se satisface las pérdidas de carga en cualquier red de tuberías descritas con anterioridad.

3.9 SELECCIÓN DE BOMBAS

En la Tabla 3.26 se muestran las especificaciones de las bombas seleccionadas a partir de los cálculos realizados anteriormente.

Tabla 3.26 Datos de las bombas calculadas y seleccionadas

Proceso	Criterios de búsqueda calculadas	Criterios de búsqueda INOXPA	Potencia calculada	Potencia provista por INOXPA	Bomba
Almacenaje de Leche	Caudal: 30 m ³ /h Altura: 39,86 m	Caudal: 30 m ³ /h Altura: 43,5 m	5,58 kW	5,93 kW	SE-26
Limpieza CIP	Caudal: 30 m ³ /h Altura: 62,244 m	Caudal: 30 m ³ /h Altura: 64,9 m	10,15 kW	10,6 kW	SE-35

Retorno CIP	Caudal: 30 m ³ /h Altura: 34,7516 m	Caudal: 30 m ³ /h Altura: 36 m	4,89 kW	5,595 kW	HCP SP 50 - 150
-------------	---	--	---------	----------	--------------------

3.10 SELECCIÓN DE ARRANQUE DE BOMBAS, ELEMENTOS DE CONTROL Y FUENTES DE ALIMENTACIÓN

3.10.1 ARRANQUE DE BOMBAS

En las secciones anteriores se detalló y se calculó las potencias de las bombas necesarias para cada proceso a realizar. Para un correcto funcionamiento de las bombas se debe tener en cuenta el tipo de arranque que se utilizará en cada bomba. Existen varios tipos de arranque entre los más utilizados están:

- Arranque directo
- Arranque estrella – triángulo
- Arranque suave

El arranque directo es el método más sencillo ya que consiste la conexión directa de la bomba a la red eléctrica pero a su vez genera una gran corriente de arranque entre 5 a 7 veces la corriente nominal del motor o bomba. Este arranque se puede realizar con motores o bombas de > 4kW. Esta conexión se muestra en la Figura 42.

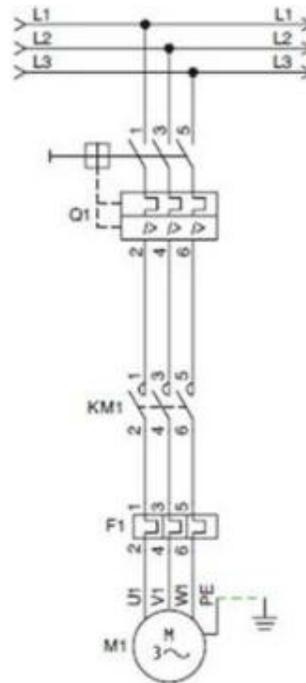


Figura 42. Esquema arranque directo
Fuente: automatismoindustrial, [57]

El arranque estrella-triángulo es un método utilizado cuando la potencia de motores y bombas sobrepasa los 4 kW, con este método se busca reducir la corriente de arranque entre 2,5 a 3 veces la corriente nominal del motor o bomba. Una de las desventajas de este arranque es la complejidad de conexión entre contactores y la necesidad de tener un amplio espacio en el lugar donde se ubicará. En la Figura 43 se muestra este tipo de arranque.

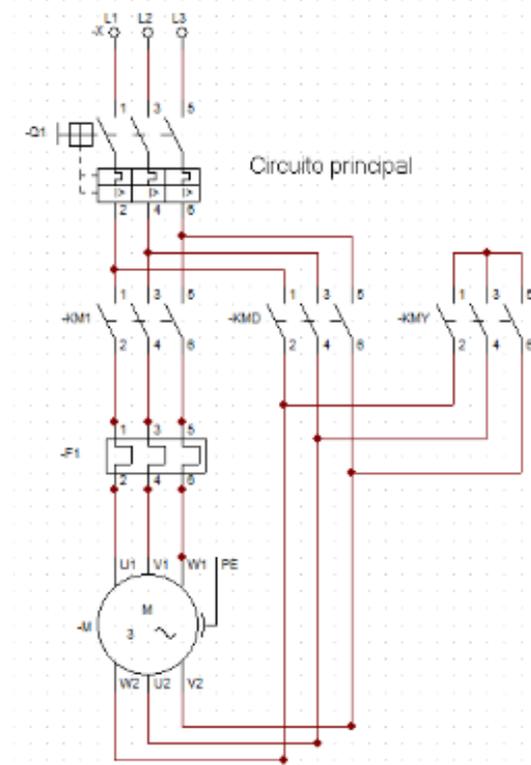


Figura 43. Arranque estrella – triángulo
Fuente: todoexpertos, [58]

El arranque suave permite controlar el arranque de un motor o bomba de forma lineal y continua reduciendo la corriente de arranque hasta llegar a la velocidad nominal del motor o bomba. Para el arranque de las bombas calculadas se optó por utilizar este tipo de arranque, en la Tabla 3.27 se muestra las potencias y los arrancadores óptimos para estas bombas.

Tabla 3.27 Potencias de bombas y arrancadores suaves

Bombas	Potencia [Hp]	Tensión de alimentación [Vac]	Arrancador Suave, Potencia [Hp]	Código
Llenado de leche	10	220	12	3RW4027-1BB14
Retorno CIP	7,5	220	9	3RW4026-1BB14
Limpieza CIP	15	220	18	3RW4036-1BB14

En la Figura 44 se observa este tipo de arrancadores suaves.



Figura 44. Arrancador Suave
Fuente: solucionesyservicios, [59]

3.10.2 TABLEROS DE CONTROL

El diseño eléctrico se divide en dos partes principales: el tablero principal donde se ubica el mando central de control del sistema (PLC y HMI) y un segundo tablero de periferia descentralizada.

3.10.2.1 Tablero principal: Mando de control

El tablero principal contiene los principales componentes de control como son el HMI, PLC, módulo de entradas, salidas digitales y señales analógicas (Siemens). El primero de estos es el encargado de visualizar los sistemas que se controlan y los comandos de los diferentes procesos a ser identificados y procesados por el PLC para que este reconozca el comando y ejecute el programa indicado para el proceso seleccionado. A continuación se detalla la selección de cada componente dentro del tablero de control.

3.10.2.2 Módulo de control PLC y sistema de visualización HMI

Para el control de los módulos y actuadores se utilizó el PLC S7-1500 como se muestra en la Figura 45, con CPU 1511-1PN desarrollado por Siemens. Este CPU tiene una capacidad de ampliación de hasta 32 módulos de señal, con dos puertos de Ethernet para la comunicación entre módulos y pantallas HMI. Este PLC se encarga del control de todos los procesos que son: Recepción y almacenaje de leche en los silos, limpieza

CIP de los silos y tanqueros, envío de la leche almacenada a producción, medición de nivel y temperatura de los fluidos almacenados en los silos.



Figura45. PLC S7-1500, CPU 1511-1PN
Fuente: industry.siemens, [60]

La pantalla de visualización HMI que se utilizó fue la KTP900 PN Basic que se muestra en la Figura 46 y cuya pantalla de 9" es adecuada para visualizar los sistemas a controlar y los comandos para la selección de procesos.



Figura46. HMI KTP900 PN Basic
Fuente: support.industry.siemens, [61]

3.10.2.3 Módulo de entradas digitales

Los módulos de entradas digitales son las encargadas de recibir señales desde los actuadores para ser leídas y procesadas por el PLC. Estos módulos se seleccionan dependiendo del número de actuadores que cuenten con una retroalimentación para conocer el estado de cada uno de ellos, algunos ejemplos son: detección de fallos en arrancadores de motores, posición del vástago en válvulas, detección de nivel de líquidos. Se debe tomar en cuenta que estos módulos digitales solo aceptan señales de 24 a 0 Vdc.

El número de actuadores que se va a controlar es de 13 válvulas neumáticas, 10 de ellas con cabezal de control C-TOP+, en la Figura 47 se observa el esquema de la asignación de contactos para la conexión y funcionamiento de la válvula.

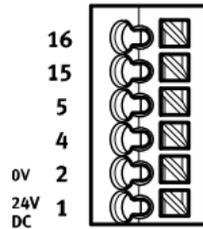


Figura 47. Bornera para la asignación de contactos
Fuente: inoxpa, [62]

Donde:

- 1.- Alimentación de 24 Vdc
- 2.- Alimentación de 0 Vdc
- 4.- Salida de 24 Vdc del sensor 1, led rojo
- 5.- Salida de 24 Vdc del sensor 2, led verde
- 16.- Entrada de señal de 24 Vdc desde PLC

Como se observa el cabezal de control cuenta con dos salidas de retroalimentación para detectar la posición de la válvula (abierto o cerrado). En la Tabla 3.28 se observa el número de válvulas y entradas para determinar el módulo a seleccionar.

Tabla 3.28 Número de válvulas y entradas digitales

Número de válvulas	Número de sensores	Número de entradas	Tipo de señal
10	20	20	Digital (24 Vdc)

El módulo de entradas de digitales que se seleccionó es el módulo de 32 entradas a 24 Vdc (6ES7521-1BL00-0AB0) como se observa en la Figura 48.

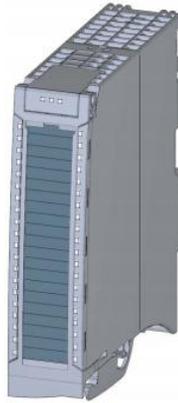


Figura 48. Módulo de 32 entradas digitales
Fuente: support.industry.siemens, [63]

3.10.2.4 Módulo de salidas digitales

El módulo de salidas digitales es el que se encarga de recibir instrucciones desde el PLC para activar mediante una señal a los diferentes actuadores y componentes eléctricos que se controlen. La selección de este tipo de módulo es similar a la de entradas digitales pero a la vez debe tomarse en consideración: tensión de control, corriente y potencia del actuador a controlar. En la Tabla 3.29 se muestra estas características de cada actuador y componente eléctrico utilizado.

Tabla 3.29 Características eléctricas de actuadores y componentes eléctricos

Actuadores/Componente eléctrico	Tensión de control	Consumo de corriente	Potencia
Válvula neumática con cabezal C-TOP+	24 Vdc	150 mA	3,6 W
Válvula neumática con solenoide	24 Vdc	145 mA	3,5 W

En la Tabla 3.30 se observa el número y tipos de salidas para determinar el módulo a seleccionar.

Tabla 3.30 Número de válvulas y entradas digitales

Actuadores/Componente eléctrico	Número de salidas para control	Tipo de señal/Señal de salida
Válvula neumática con cabezal C-TOP+	10	Digital (24 Vdc)
Válvula neumática con solenoide	3	Digital (24 Vdc)
Guardamotor (7,5 Hp)	1	Digital (220 Vac)
Guardamotor (10 Hp)	1	Digital (220 Vac)
Guardamotor (15 Hp)	1	Digital (220 Vac)

Teniendo estos datos se seleccionó el módulo de 32 salidas digitales a 24 Vdc (6ES7522-1BL01-0AB0) cuyas características eléctricas se observan en la Tabla 3.31.

Tabla 3.31 Características Módulo de salidas digitales

Módulo de 32 salidas digitales	Tensión de alimentación	Consumo de corriente	Corriente de salida por canal	Potencia por canal
6ES7522-1BL01-0AB0	24 Vdc	60 mA	0,5 A	12 W

Como se observa la corriente y potencia por canal del módulo de salidas digitales sobrepasa a las necesidades de activación de ambos tipos de válvulas. Para activar los guardamotores la señal del módulo de salida debe conectarse a un relé de 24 Vdc que permita el paso de 220 Vac. Los relés de estado sólido utilizados se muestran en la Figura 49.



Figura 49. Relé Finder
Fuente: findernet, [64]

3.10.2.5 Módulo de entradas analógicas

Los módulos de entradas analógicas son las encargadas de recibir señales de sensores implementados en diferentes tipos de procesos. Para la selección de este módulo se debe tener en cuenta la cantidad de sensores a implementar, así como, el tipo de señal que usan los sensores para enviar al módulo analógico.

En la Tabla 3.32 se muestra el tipo de sensor y señal de control.

Tabla 3.32 Sensores y señales de control

Sensores	Cantidad	Tensión de alimentación	Señal de control
Sensor de nivel Deltapilot	3	24 Vdc	4 – 20 mA
Sensor de temperatura	3	24 Vdc	4 – 20 mA

Como se observa en la tabla anterior se necesita un módulo que pueda soportar mínimo 6 entradas analógicas y que soporte señales de 4 – 20 mA. Para satisfacer estos requerimientos se seleccionó el módulo de 8 entradas analógicas (6ES7531-7KF00-0AB0) como se observa en la Figura 50.

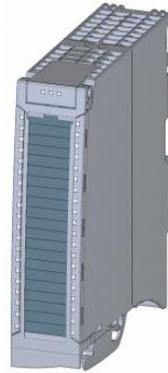


Figura 50. Módulo de 8 entradas analógicas
Fuente: industry.siemens, [65]

3.10.2.6 Switch industrial Ethernet

Estos switch industriales Ethernet permiten la conexión de varios dispositivos con este tipo de comunicación entre sí. La selección del switch industrial se determina conociendo cuantos dispositivos con comunicación Ethernet se estén utilizando, en la Figura 51 se muestra la conexión entre todos los dispositivos implementados.

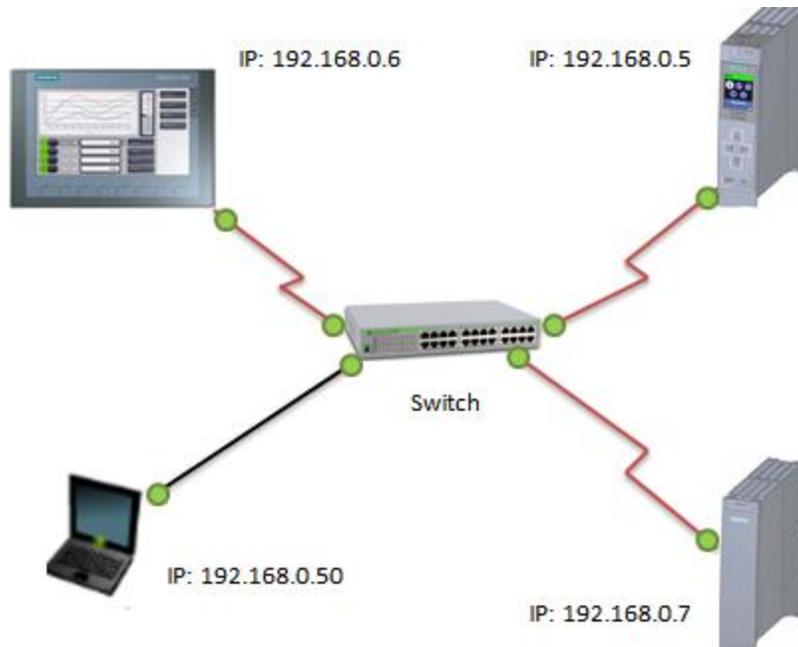


Figura 51. Conexiones Ethernet

Como se observa en la imagen existen 4 dispositivos que se interconectan mediante comunicación Profinet, por lo que se seleccionó el Switch industrial Scalance X005 de

Siemens que se muestra en la Figura 52, este posee 5 canales Ethernet que se ajustan perfectamente con esta conexión entre dispositivos.



Figura 52. Switch Industrial Scalance X005
Fuente: support.industry.siemens, [66]

3.10.2.7 Fuente de Alimentación del tablero principal

La fuente de alimentación es la encargada de brindar el voltaje y corriente necesarios para que los dispositivos que se conecten a ella trabajen de manera correcta. Para el cálculo de la fuente se debe conocer los voltajes de funcionamiento de cada dispositivo, así como, el consumo de corriente de cada uno de estos. En la Tabla 3.33 se describen las características eléctricas de cada componente. Cabe mencionar que ciertos dispositivos no estarán funcionando al mismo tiempo pero para el cálculo se tomará la situación más crítica, es decir, que todas estén funcionando al mismo tiempo.

Tabla 3.33 Voltaje y corriente de cada dispositivo

Dispositivo	Cantidad	Tensión de alimentación	Consumo de corriente	Total de consumo de corriente
PLC S7-1500	1	24 Vdc	700 mA	700 mA
Pantalla HMI	1	24 Vdc	440 mA	440 mA
Módulo de entradas digitales	1	24 Vdc	80 mA	80 mA
Módulo de salidas digitales	1	24 Vdc	60 mA	60 mA
Módulo de entradas analógicas	1	24 Vdc	240 mA	240 mA

Switch Industrial	1	24 Vdc	100 mA	100 mA
Válvulas neumáticas con C-TOP+	10	24 Vdc	150 mA	1500 mA
Válvulas neumáticas con solenoide	3	24 Vdc	150 mA	450 mA
Sensor de nivel Deltapilot	3	24 Vdc	20 mA	60 mA
Sensor de temperatura	3	24 Vdc	20 mA	60 mA
Total				3,69 A

Como se observa en esta tabla, la tensión de alimentación con la que trabajan todos los dispositivos es de 24 Vdc y la corriente total mínima que la fuente de alimentación de tener es de 3,69 A, con estos datos la fuente que se seleccionó es la que se muestra en la Figura 53.



Figura 53. Fuente SITOP
Fuente: mall.industry.siemens, [67]

La fuente de alimentación SITOP tiene una entrada de voltaje de 120/230-500 Vac con una salida de 24 Vdc a 10 A. Esta fuente de 10 A sobrepasa de gran medida a la corriente que se necesita de 3,69 A, pero se realizó esta selección debido a trabajos futuros que se realizarán en la empresa.

3.10.3 TABLERO SECUNDARIO: PERIFERIA DESCENTRALIZADO

Este tablero sirve para comandar las válvulas y sensores que se encuentran en los silos y que están a una distancia de 15 metros del tablero principal de control. Con este tablero se evita enviar aproximadamente 70 cables desde las válvulas y sensores y tener que hacer más infraestructura para estos.

Los componentes que conforman este tablero son los mismos que en tablero principal exceptuando el PLC y HMI.

3.10.3.1 Periferia descentralizada

El módulo descentralizado permite conectar módulos de entradas/salidas digitales, analógicos entre sí, teniendo conexión Ethernet con el PLC, con esto no se envía todo el cableado al tablero principal sino un cable Ethernet y se encuentra cerca de los actuadores facilitando las conexiones entre sí. Para seleccionar esta periferia descentralizada lo que se debe tomar en cuenta es la ampliación de módulos que uno quiera tener.

Existen dos tipos en Siemens:

1. M1555-5 PN BA.- Cuenta con conexión Ethernet y soporta ampliación de hasta 12 módulos.
2. M1555-5 PN ST.- Cuenta con conexión Ethernet y soporta ampliación de hasta 32 módulos.

La periferia que se seleccionó es la M1555-5 PN BA que se muestra en la Figura 54.



Figura 54. Periferia descentralizada M1555-5 PN BA
Fuente: industry.siemens, [68]

3.10.3.2 Módulo de entradas/salidas digitales

Este módulo es el mismo encontrado en el tablero principal, la única diferencia es la cantidad de retroalimentación de los actuadores a controlar.

El número de actuadores que se va a controlar en este tablero son de 16 válvulas neumáticas con cabezal de control C-TOP+. En total se tienen 32 salidas que deben ser leídas por el módulo de entradas digitales.

En la Tabla 3.34 se muestran la cantidad de actuadores y los tipos de señales de control.

Tabla 3.34 Sensores y señales de control

Actuadores	Cantidad	Tensión de alimentación	Señal de control de salida / (# salidas)	Señal de control de entrada / (# entradas)
Válvula neumática con cabezal CTOP	16	24 Vdc	Salida digital a 24 Vdc (16 salidas digitales)	Entrada digital de 24 Vdc (32 salidas digitales)

El módulo de entradas de digitales que se seleccionó es el módulo de 32 entradas a 24 Vdc (6ES7521-1BL00-0AB0).

El módulo de salidas digitales que se seleccionó es el módulo de 32 salidas a 24 Vdc (6ES7522-1BL01-0AB0).

3.10.3.3 Módulo de entradas analógicas

Para la selección de este módulo se debe tener en cuenta la cantidad de sensores a implementar, así como, el tipo de señal que usan los sensores para enviar al módulo analógico. En la Tabla 3.35 se muestra el tipo de sensor y señal de control.

Tabla 3.35 Sensores y señales de control

Sensores	Cantidad	Tensión de alimentación	Señal de control
Sensor de nivel Deltapilot	3	24 Vdc	4 – 20 mA
Sensor de temperatura	3	24 Vdc	4 – 20 mA

El módulo que se seleccionó es el mismo visto en la sección 3.9.2.5.

3.10.3.4 Fuente de Alimentación del tablero principal

Para el cálculo de la fuente se debe conocer los voltajes de funcionamiento de cada dispositivo, así como, el consumo de corriente de cada uno de estos. En la Tabla 3.36 se describen las características eléctricas de cada componente.

Tabla 3.36 Voltaje y corriente de cada dispositivo

Dispositivo	Cantidad	Tensión de alimentación	Consumo de corriente	Total consumo de corriente
Periferia Descentralizada	1	24 Vdc	1700 mA	1700 mA
Módulo de entradas digitales	1	24 Vdc	80 mA	80 mA
Módulo de salidas digitales	1	24 Vdc	60 mA	60 mA
Módulo de entradas analógicas	1	24 Vdc	240 mA	240 mA
Válvulas neumáticas con C-TOP+	16	24 Vdc	150 mA	2400 mA
Sensor de nivel Deltapilot	3	24 Vdc	20 mA	60 mA
Sensor de temperatura	3	24 Vdc	20 mA	60 mA
Total				4,6 A

Como se observa la tensión de alimentación con la que trabajan todos los dispositivos es de 24 Vdc y la corriente total mínima que la fuente de alimentación de tener es de 4,6 A. Con este dato se seleccionó la misma fuente de alimentación del primer tablero con entrada de voltaje de 120/230-500 Vac y salida de 24 Vdc a 10 A.

3.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el diseño de sistema de control se debe conocer la cantidad de procesos a controlar. Estos procesos se muestran a continuación:

1. Almacenaje de leche en silos
2. Envío de leche almacenada a producción
3. Limpieza CIP de los silos
4. Limpieza CIP de los tanqueros
5. Limpieza CIP tubería de leche

3.11.1 ALGORITMO GENERAL DE SELECCIÓN DE PROCESOS

La selección de procesos no sigue un orden secuencial sino que varios procesos se pueden realizar al mismo tiempo con las restricciones necesarias para que estos procesos no se interpongan con otros. En la Figura 55 se presenta el diagrama de flujo para la selección de los diferentes procesos.

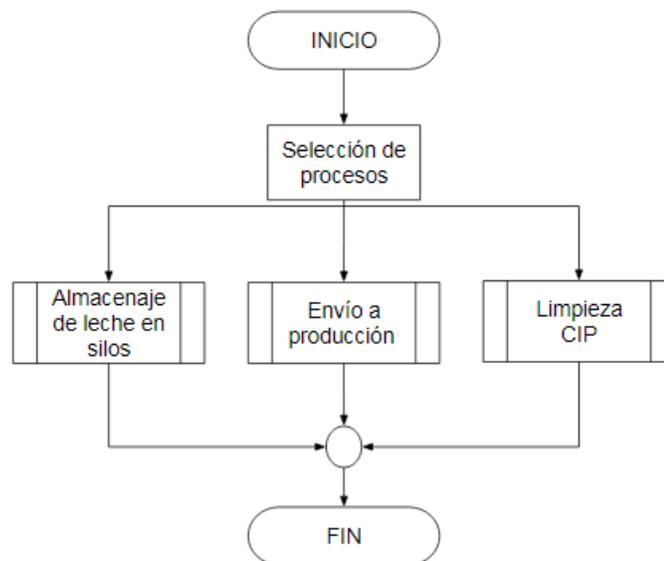


Figura 55. Diagrama de Flujo de Selección de procesos

3.11.2 ALGORITMO PARA EL ALMACENAJE DE LECHE EN SILOS

Este proceso consta de la recepción de la leche desde un tanquero para ser almacenada en uno de los tres silos a disposición.

Al tener tres silos para el almacenaje de la leche el algoritmo debe permitir la elección de cualquiera de los tres para el almacenaje. Para realizar este algoritmo se debe conocer la distribución de tuberías y válvulas que permitirán el paso de la leche a cada silo. En la Figura 56 se muestra la distribución de los tres silos, las líneas de tuberías y válvulas.

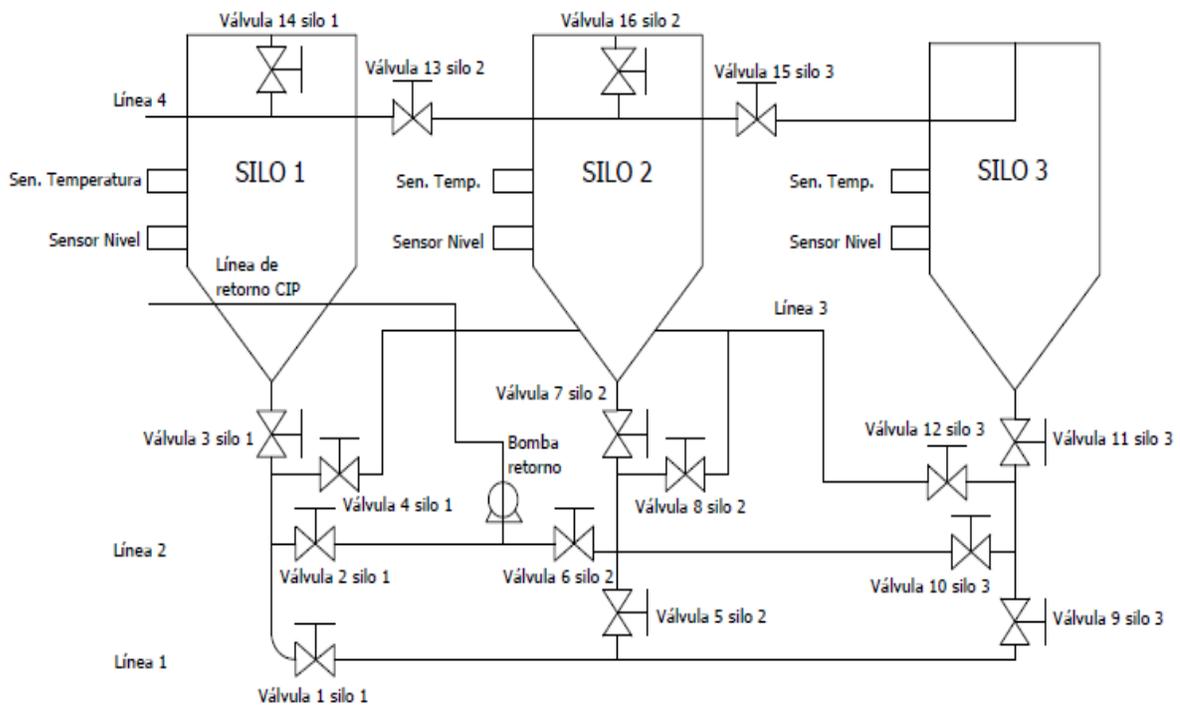


Figura 56. Distribución de silos, líneas de procesos y válvulas

Donde:

Línea 1.- Tubería para almacenaje de leche

Línea 2.- Tubería para retorno de limpieza CIP

Línea 3.- Tubería para envío a producción

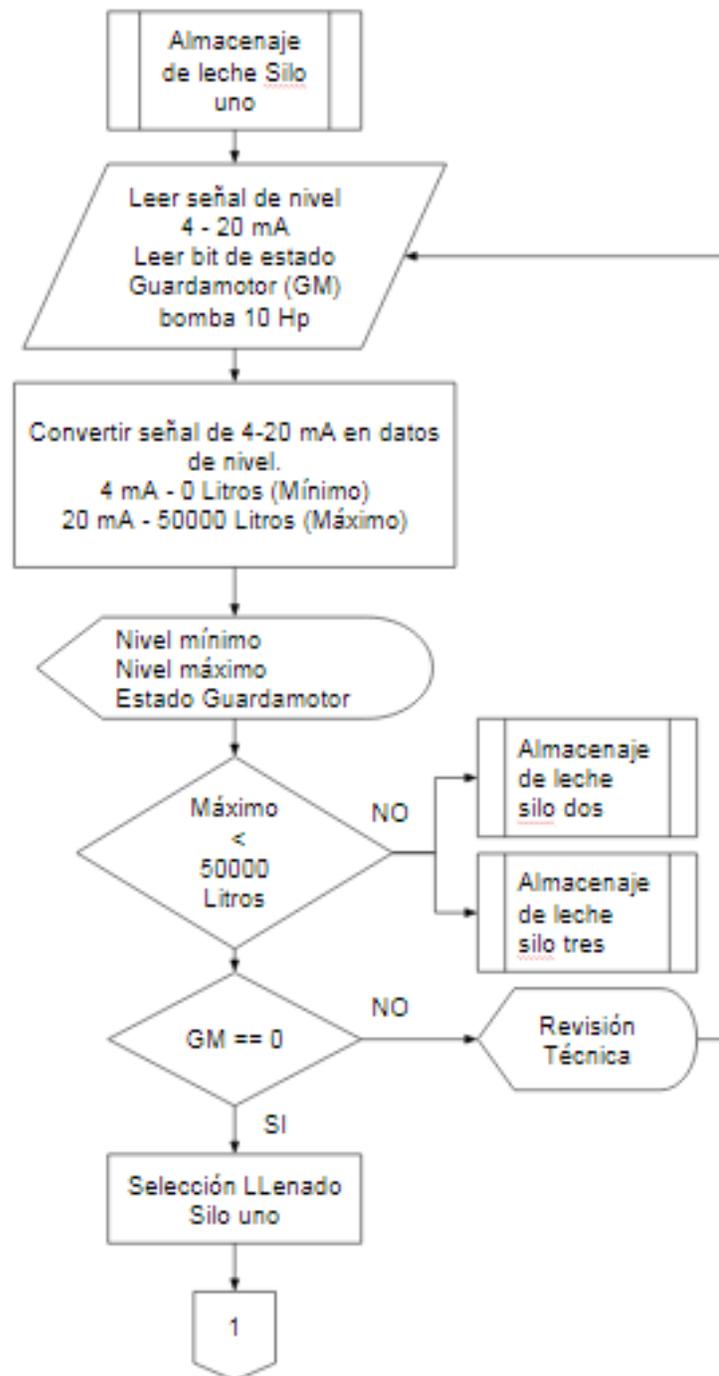
Línea 4.- Tubería para limpieza CIP

El algoritmo para el almacenaje de leche en los silos debe tener en cuenta la ejecución de los otros procesos para que no exista una ambigüedad entre estos. Para lograr esto el programa debe conocer el estado de cada una de las válvulas de toda la red de tuberías y los sensores localizados en los silos. En las siguientes secciones se muestra los diferentes algoritmos de selección para cada silo.

3.11.2.1 Algoritmo para selección de llenado del silo uno

En la Figura 57 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo para seleccionar el llenado del silo uno.

La selección de llenado del silo uno inicia con la lectura de las señales provenientes del sensor de nivel y el estado del guardamotor, se convierte la señal eléctrica de entrada de 4 – 20 mA del sensor analógico en números para conocer el nivel mínimo (0 litros) y máximo (50000 litros) dentro del silo mostrándolos en pantalla, si el nivel máximo es menor que 50000 litros se procede a preguntar el estado del guardamotor, caso contrario la leche se debe almacenar en los silos dos o tres. Si el estado del guardamotor es igual a un bit cero se procede a la selección del llenado del silo uno, sino, muestra en pantalla que se necesita una revisión técnica del guardamotor. Al llegar a la selección del silo uno se procede a leer los estados de las válvulas (abiertas o cerradas) mostradas en pantalla, se realiza la confirmación de estados de las válvulas necesarias para el llenado del silo uno, si no se cumple la condición se procede a ir a la selección de procesos, caso contrario, se abren las válvulas que permiten el paso de la leche al silo, se enciende la bomba, se lee el nivel máximo, si el nivel máximo es menor a 50000 litros el operario puede detener el llenado del silo apagando la bomba y válvulas o si el nivel máximo es igual a 50000 el apagado de la bomba y válvulas se realiza automáticamente finalizando el proceso de llenado



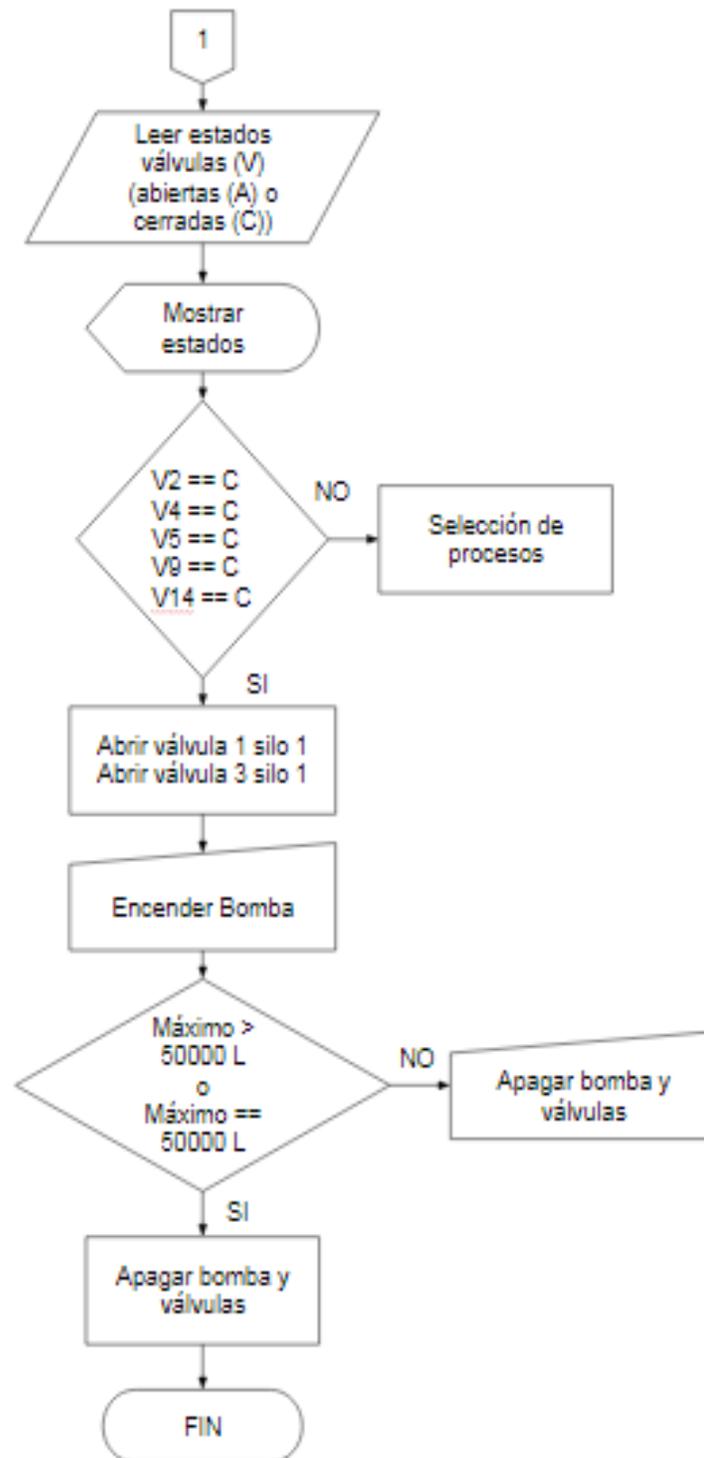
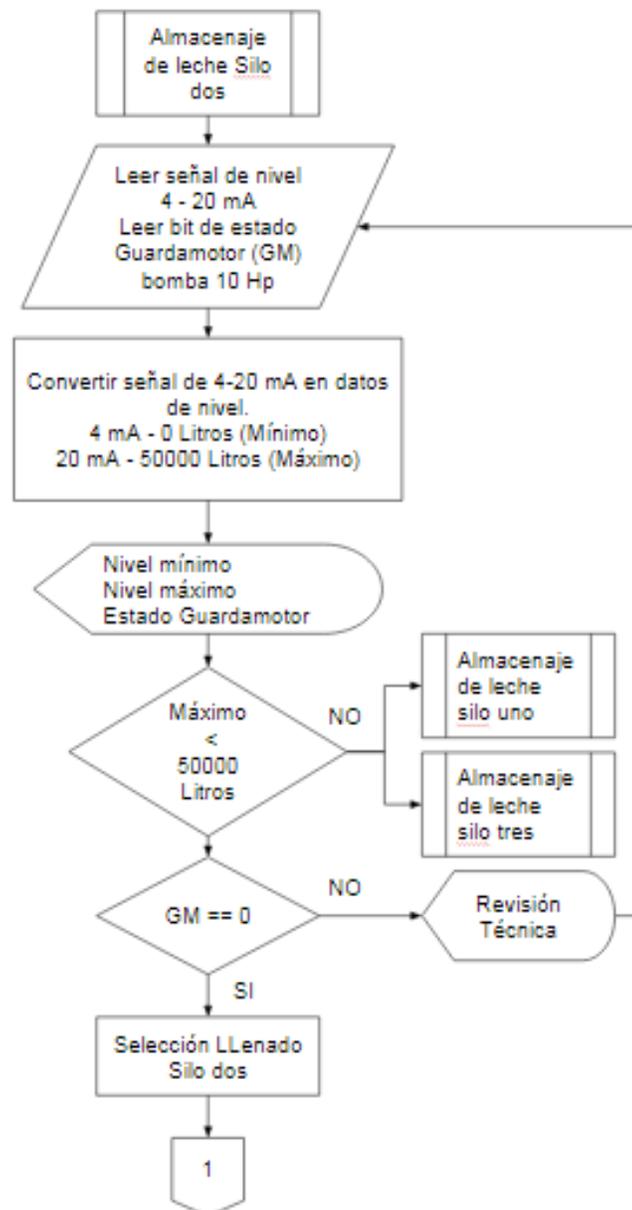


Figura 57. Diagrama de flujo selección de llenado silo uno

3.11.2.2 Algoritmo para selección de llenado del silo dos

El algoritmo para la selección de llenado del silo dos es similar al del primero cambiando la decisión respecto a los estados de diferentes válvulas. En la figura 58 se muestra el diagrama de flujo para esta selección.



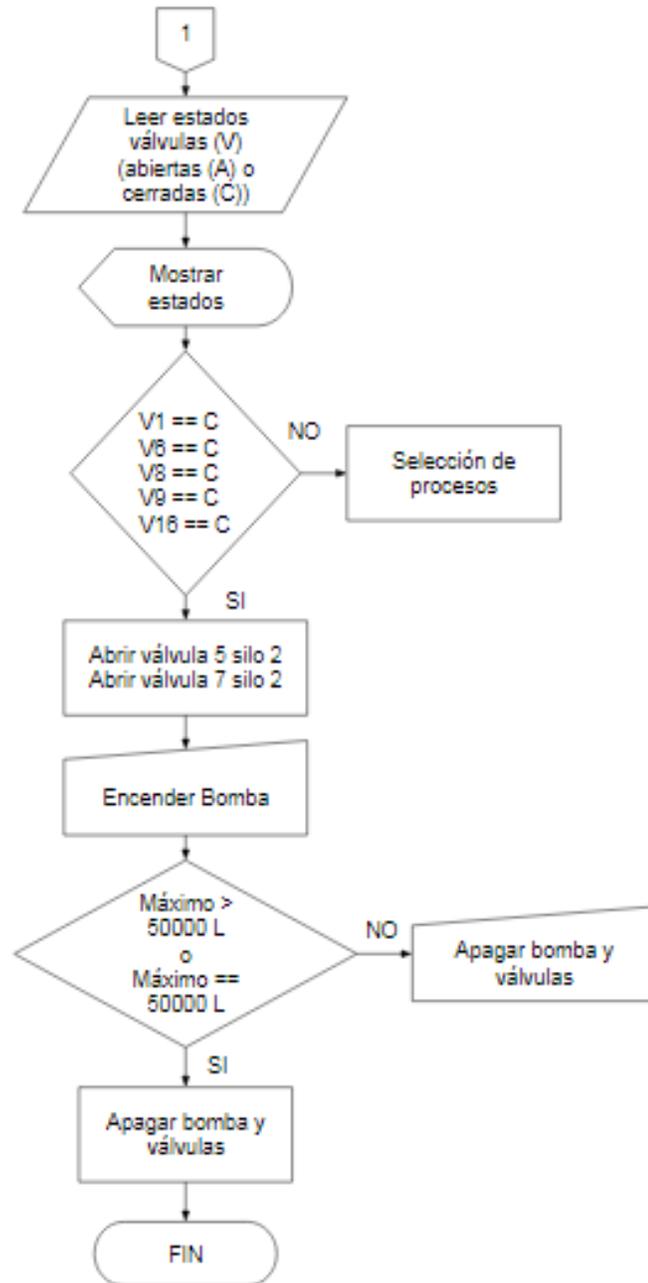
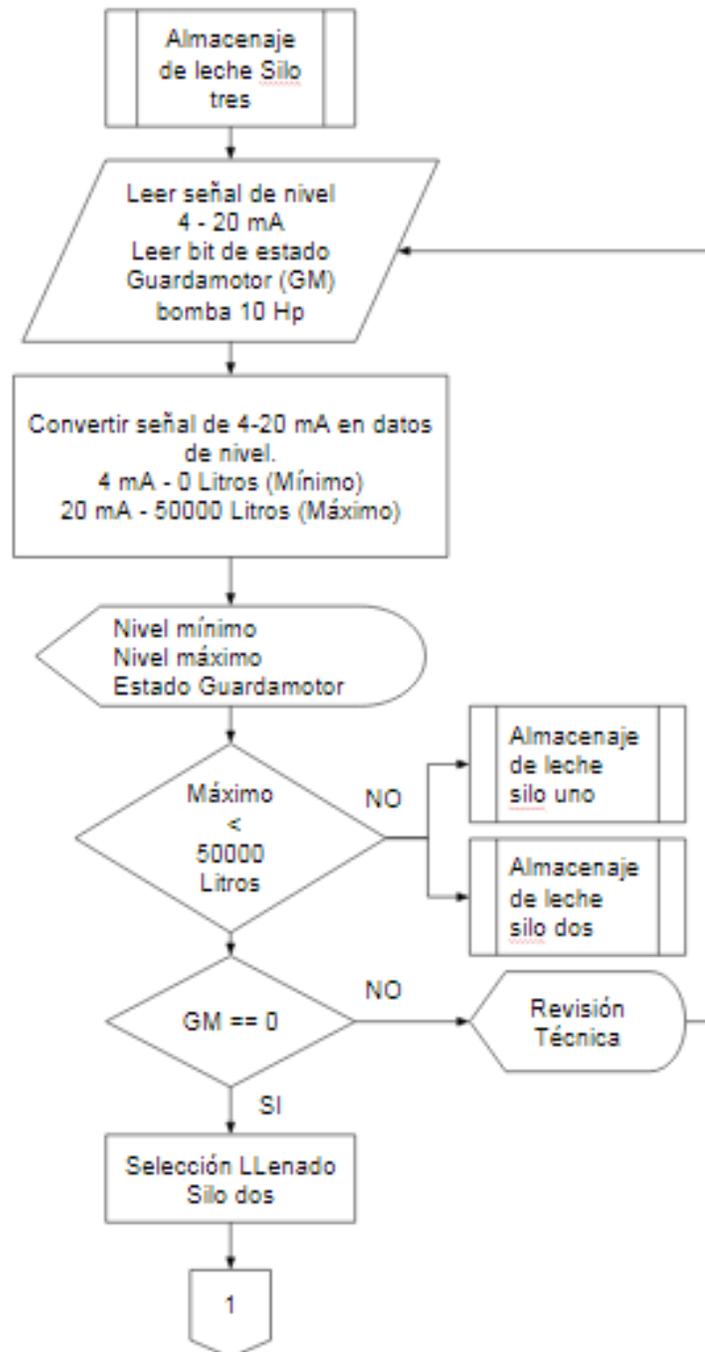


Figura 58. Diagrama de flujo selección de llenado silo dos

3.11.2.3 Algoritmo para selección de llenado del silo tres

En la figura 59 se muestra el diagrama de flujo para esta selección.



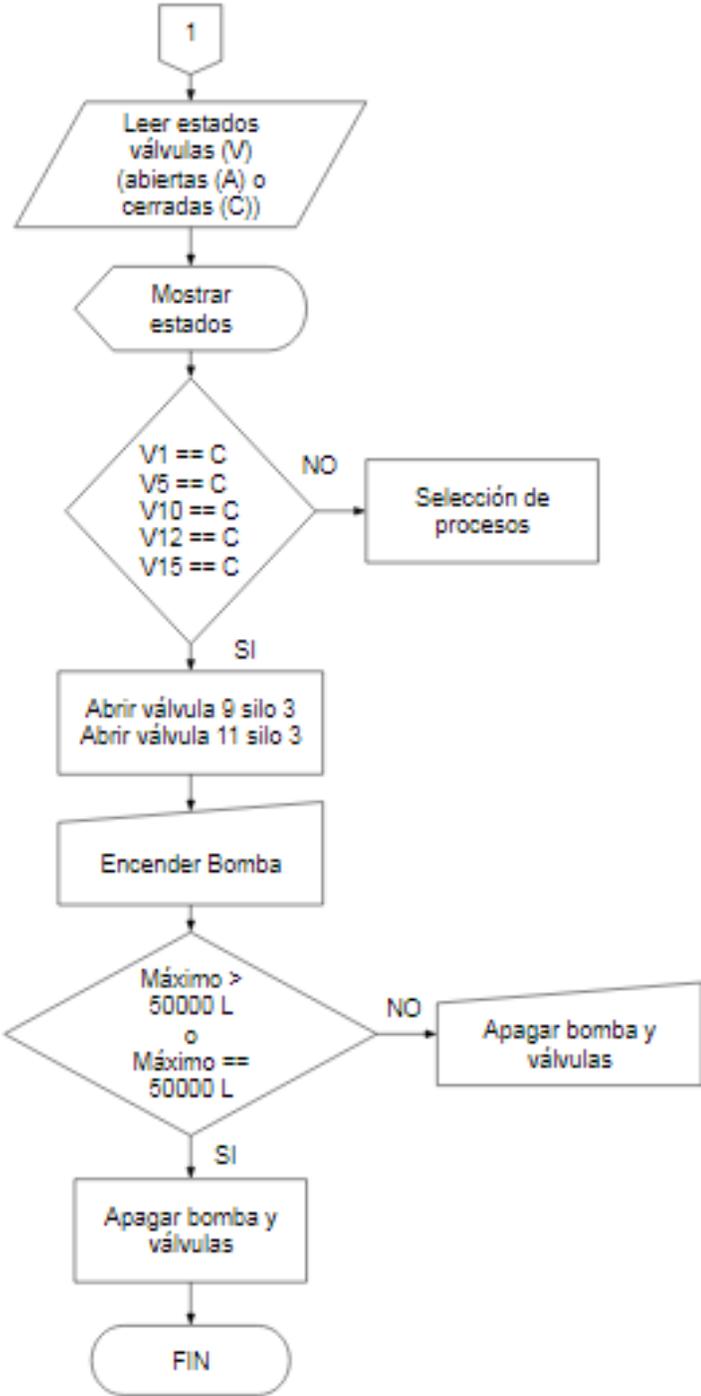


Figura 59. Diagrama de flujo selección de llenado silo tres

3.11.3 ALGORITMO PARA EL ENVÍO DE LECHE A PRODUCCIÓN

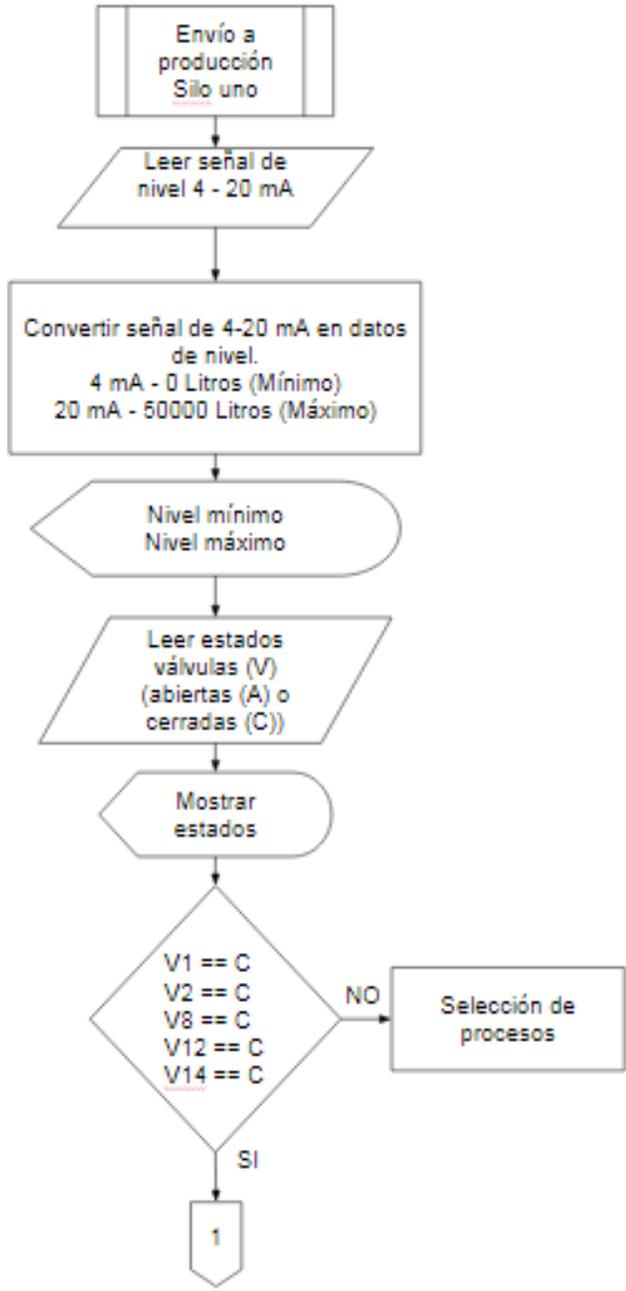
Este proceso consiste en enviar la leche almacenada en cualquiera de los tres silos a producción, este algoritmo como el anterior debe tener en cuenta los estados de las válvulas, sensores de nivel y otros procesos que puedan estar activos al mismo tiempo.

Este algoritmo se divide en tres subprocesos, uno para cada silo que a continuación se detallan.

3.11.3.1 Algoritmo para el envío de leche a producción desde el silo uno

En la Figura 60 el diagrama de flujo detallando el algoritmo.

El algoritmo debe leer la señal eléctrica proveniente del sensor de nivel para convertirlo en datos de nivel y mostrarlos en pantalla, al mismo tiempo saber los estados de cada válvula de la red de tuberías y mostrarlos en pantalla, si las válvulas necesarias para realizar esta operación están cerradas se procede a la abertura de las válvulas de descarga a producción, caso contrario se regresa a la selección de procesos debido a que otra operación puede estar efectuándose. Al abrir las válvulas se muestra su estado en pantalla y se enciende la bomba de producción, si el nivel mínimo es igual a cero se apaga automáticamente la bomba finalizando el proceso, si el nivel mínimo no es igual a 0 se puede detener la bomba por parte del operario dependiendo si no se quiere vaciar el silo en una sola descarga.



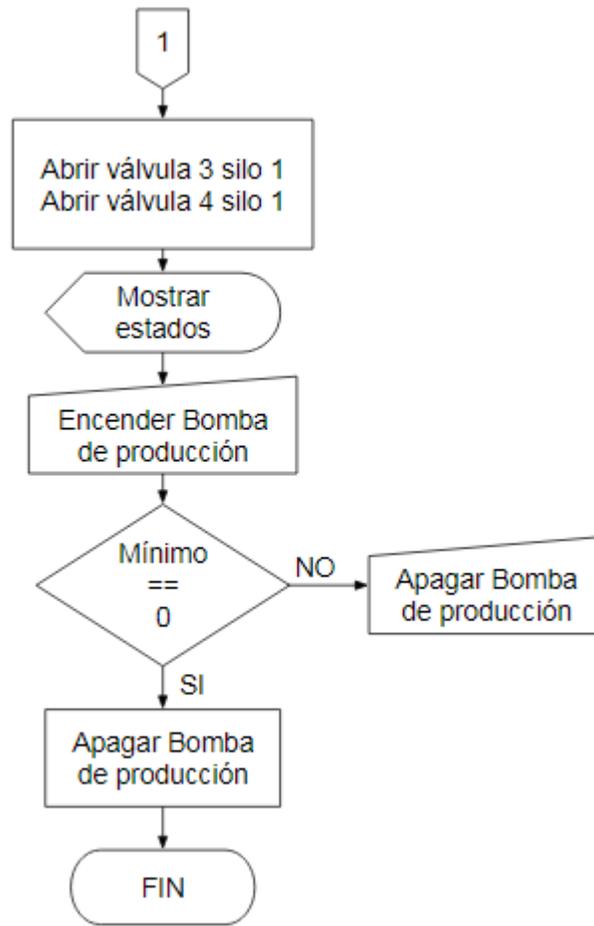
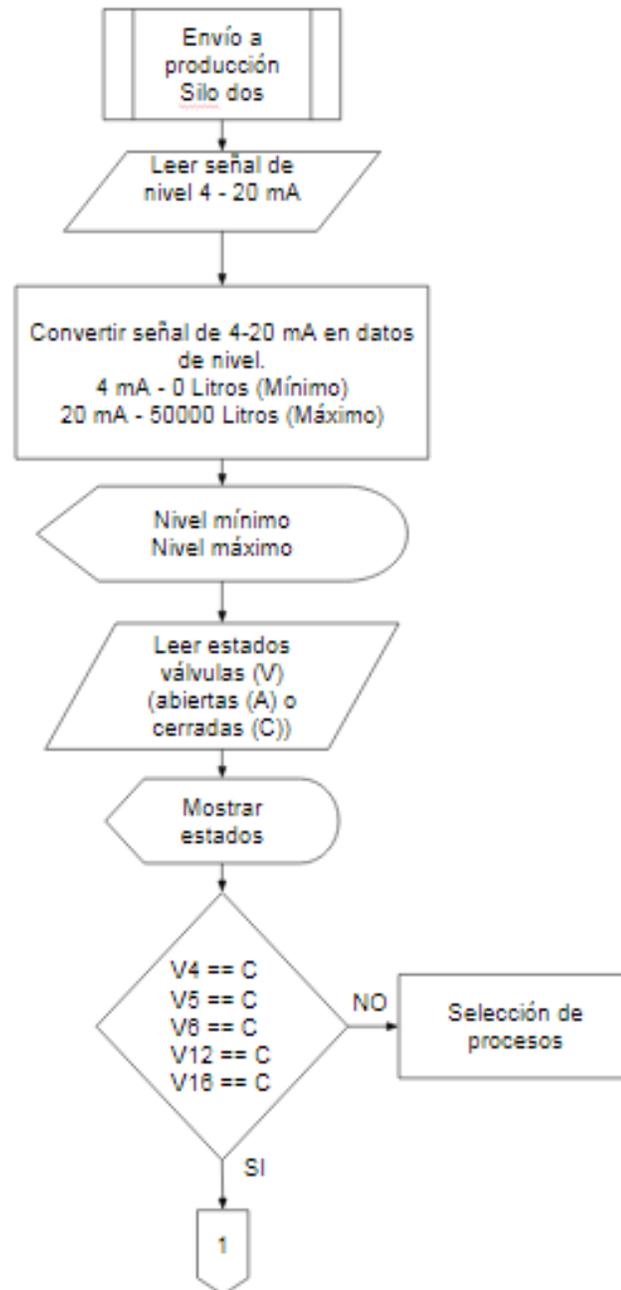


Figura 60. Diagrama de flujo de envío de producción desde silo uno

3.11.3.2 Algoritmo para el envío de leche a producción desde el silo dos

En la Figura 61 se presenta el diagrama de flujo con los cambios respecto a las condiciones de las válvulas para el envío a producción desde el silo dos.



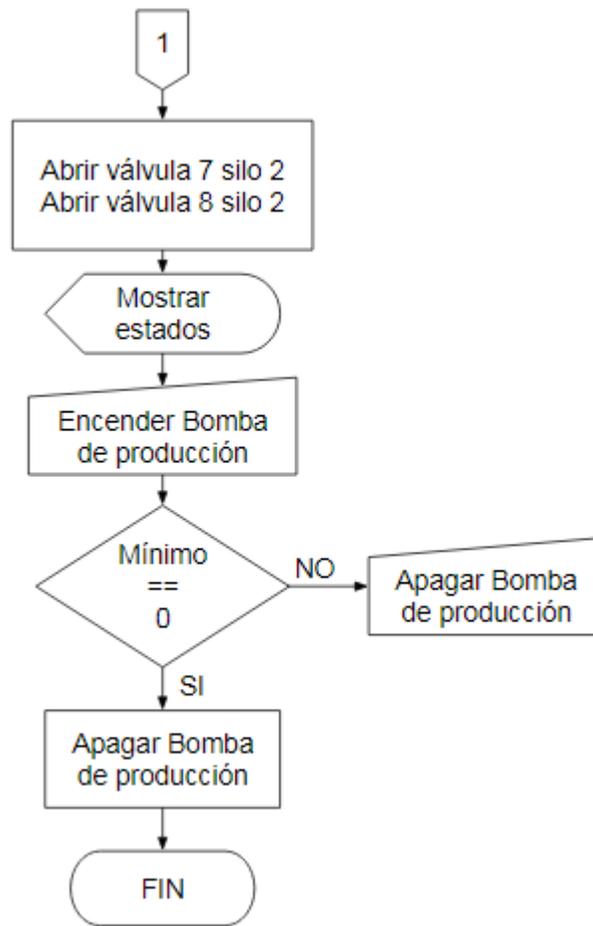
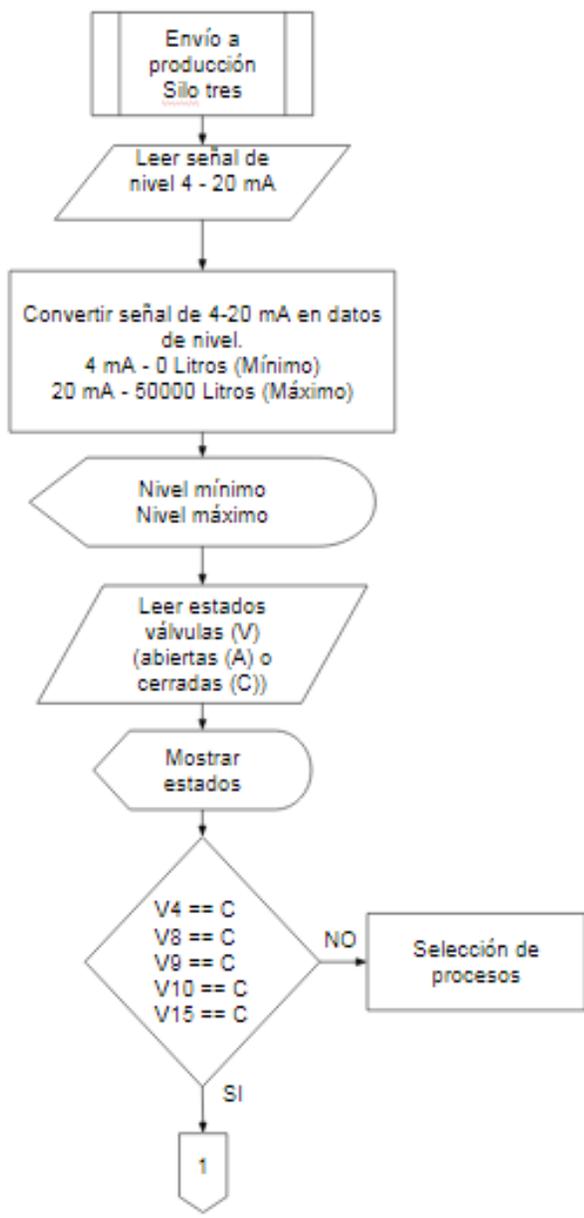


Figura 61. Diagrama de flujo de envío de producción desde silo dos

3.11.3.3 Algoritmo para el envío de leche a producción desde el silo tres

En la Figura 62 se presenta el diagrama de flujo con los cambios respecto a las condiciones de las válvulas para el envío a producción desde el silo tres.



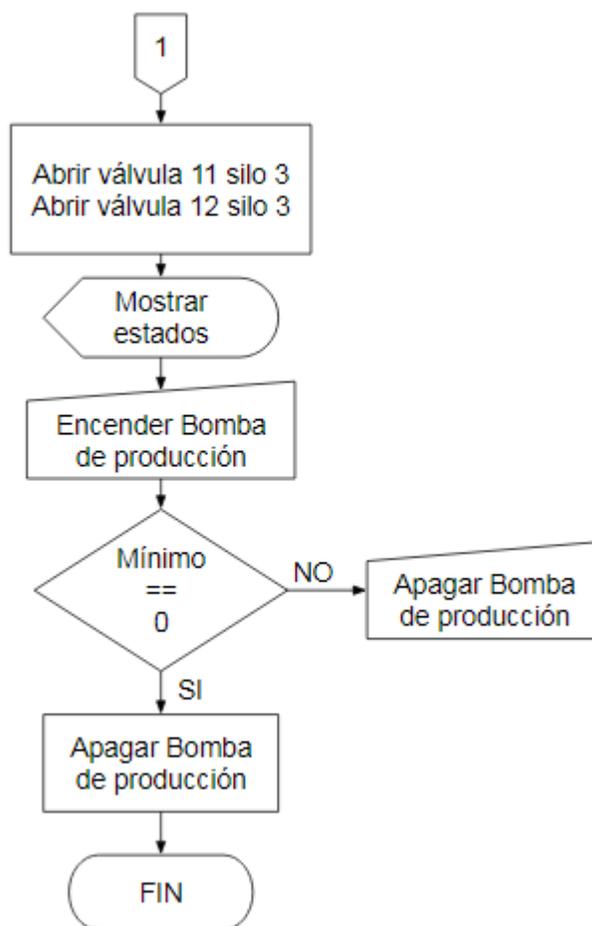


Figura 62. Diagrama de flujo de envío de producción desde silo tres

3.11.4 ALGORITMO DE LIMPIEZA CIP PARA SILOS DE ALMACENAMIENTO

Para realizar el algoritmo de la limpieza CIP se debe conocer los pasos para lograr una limpieza correcta y los tiempos que los líquidos de CIP deben circular por la red de tuberías de los silos. El proceso general de limpieza con sus tiempos de circulación se detallan a continuación:

1. Desleche.- Empuje de agua por 5 minutos
2. Lavado sosa.- Empuje de sosa por 30 minutos
3. Enjuague.- Empuje de agua por 15 minutos
4. Lavado ácido.- Empuje de ácido por 30 minutos
5. Enjuague.- Empuje de agua por 15 minutos

Al tener claro el proceso de limpieza se debe completar con la abertura y cierre de válvulas de la red de tuberías de los tres silos que se mostró en la Figura 56 y la red de tuberías donde se encuentran almacenadas en silos pequeños las sustancias para la limpieza CIP. Esta red de tuberías se muestra en la Figura 63.

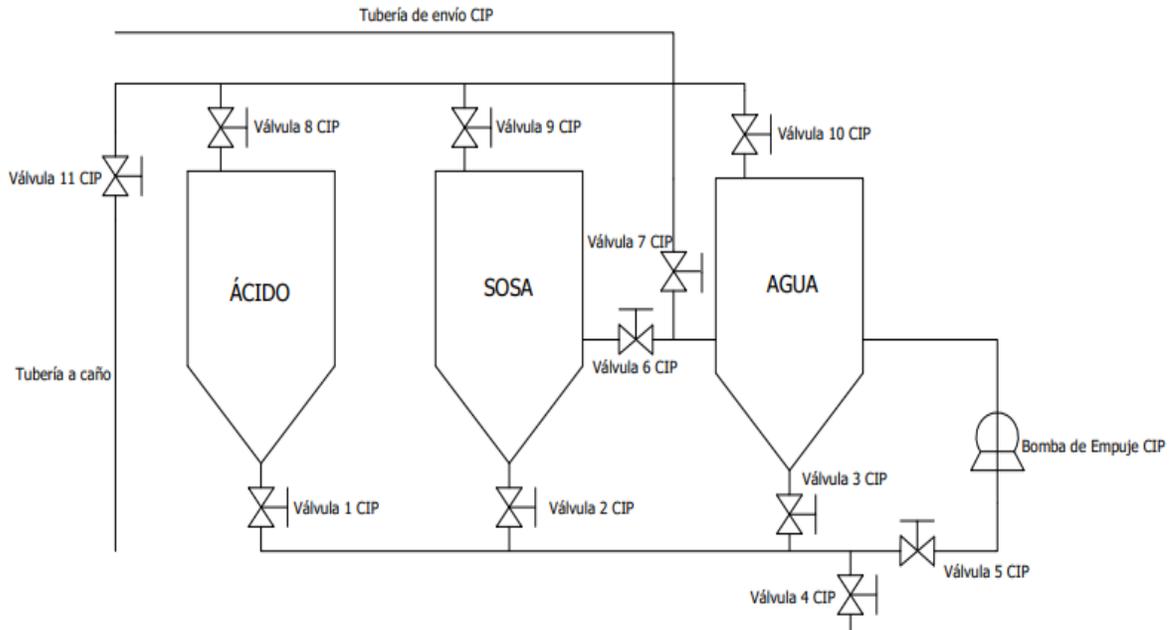
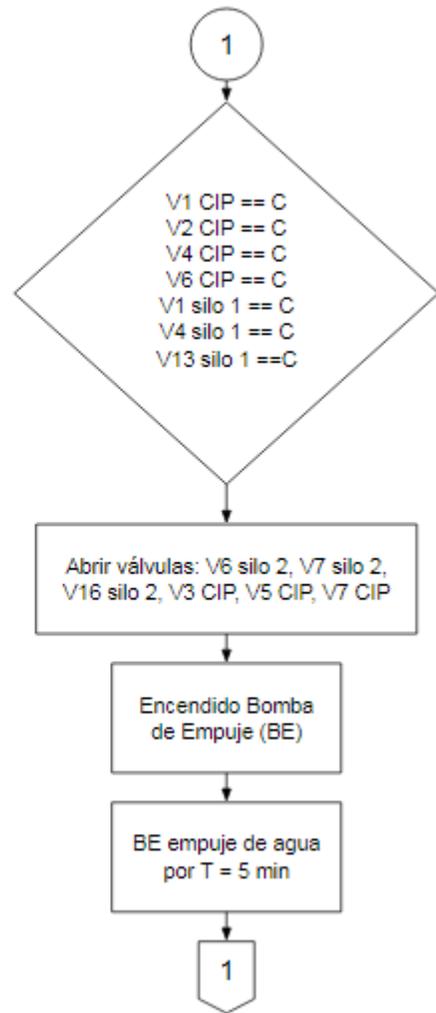
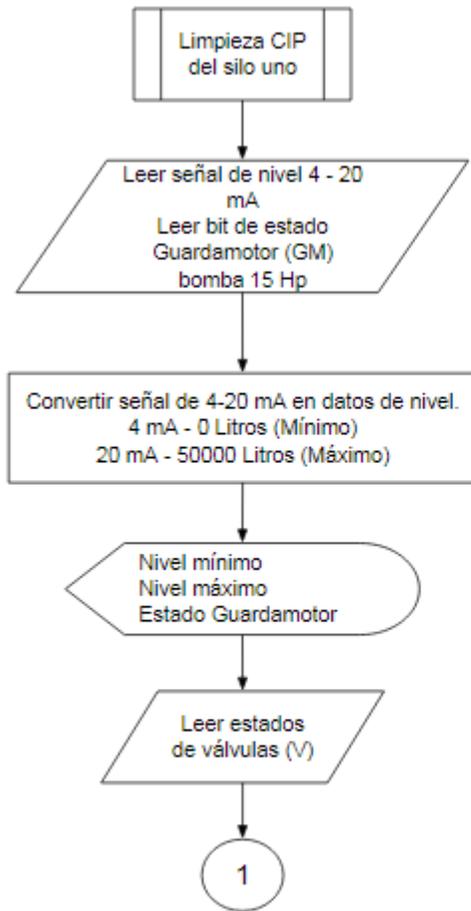
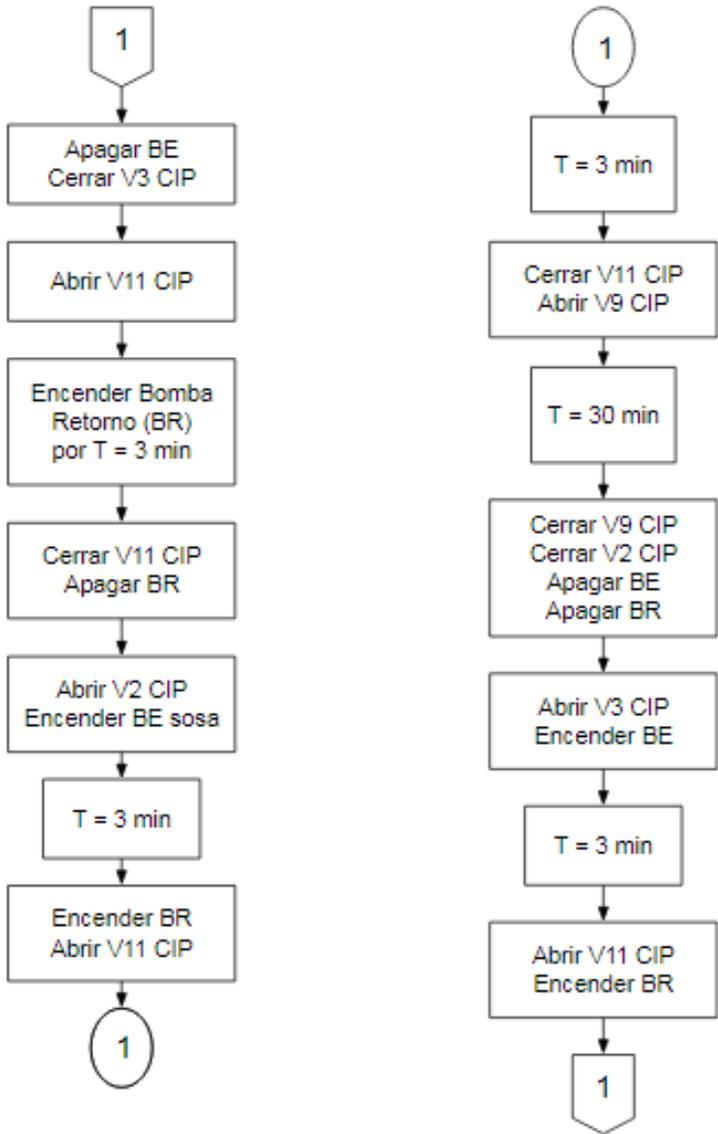


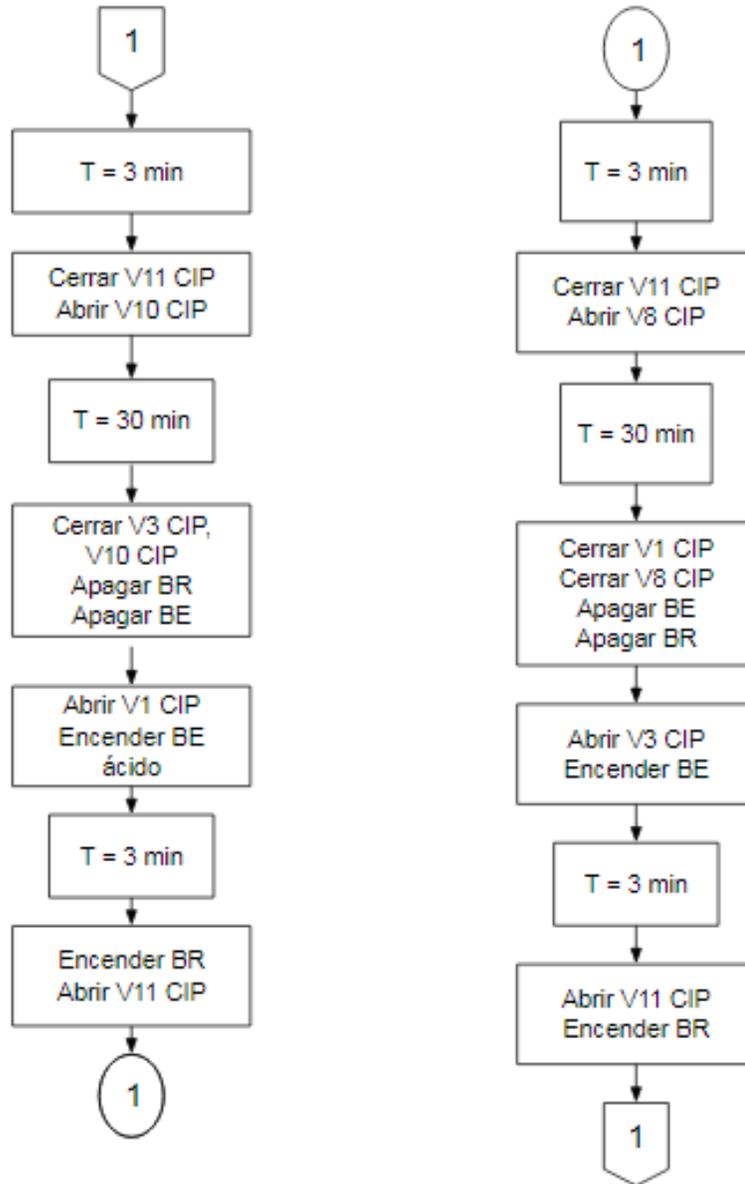
Figura 63. Silos de almacenamientos sustancias CIP, distribución de tuberías y válvulas

3.11.4.1 Algoritmo para limpieza CIP del silo uno

El algoritmo para la limpieza CIP del silo uno consta de abrir y cerrar las válvulas, así como, el arranque, apagado de las bombas de empuje y retorno determinadas mediante temporizadores. En el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 64 se detalla de mejor manera este algoritmo.







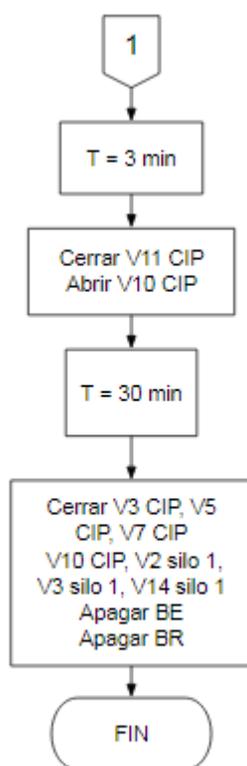
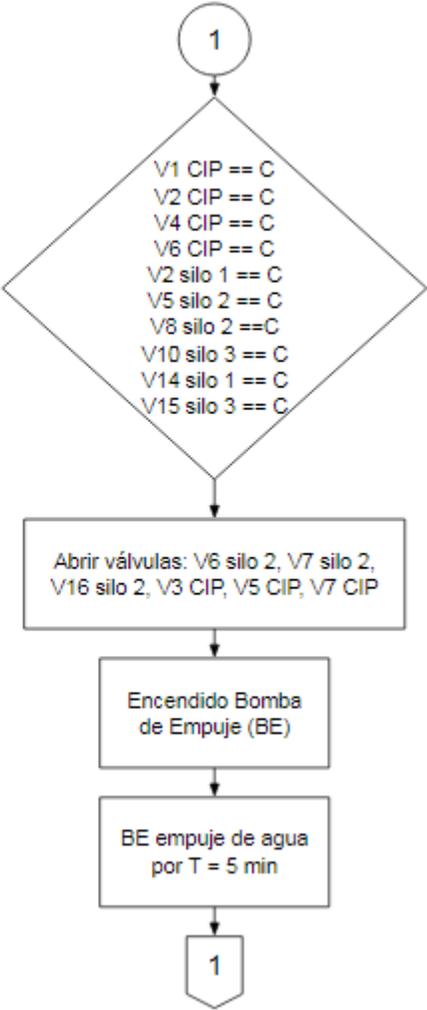
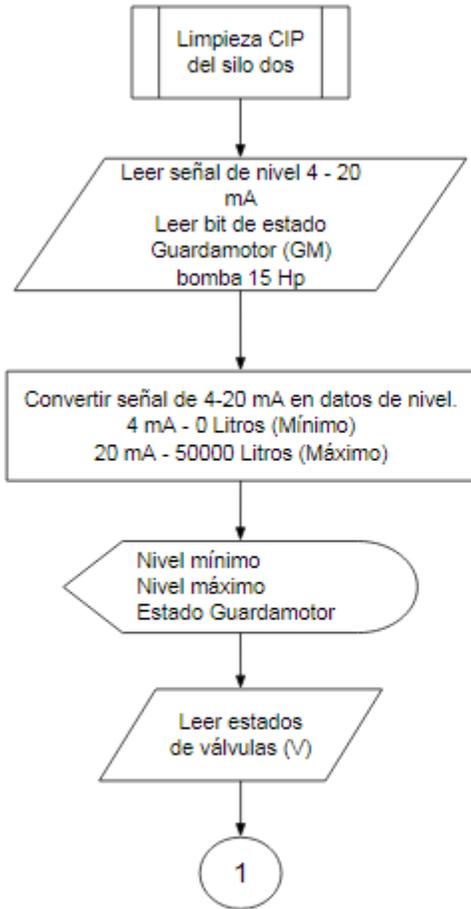
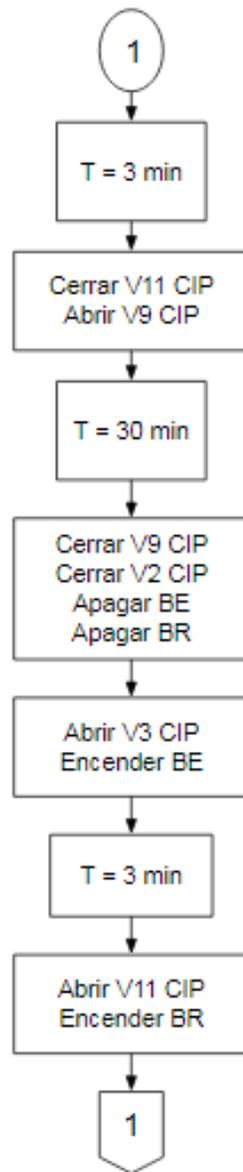
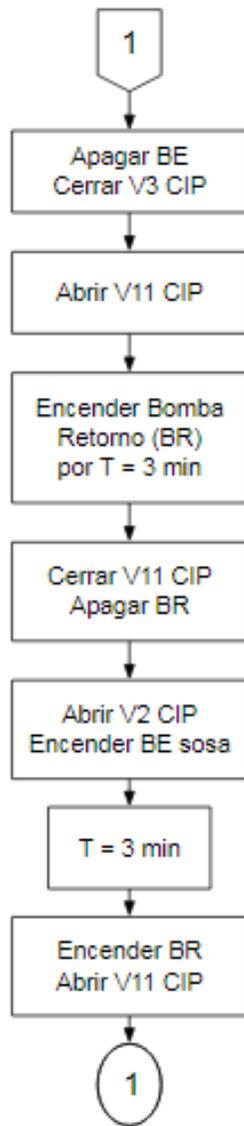


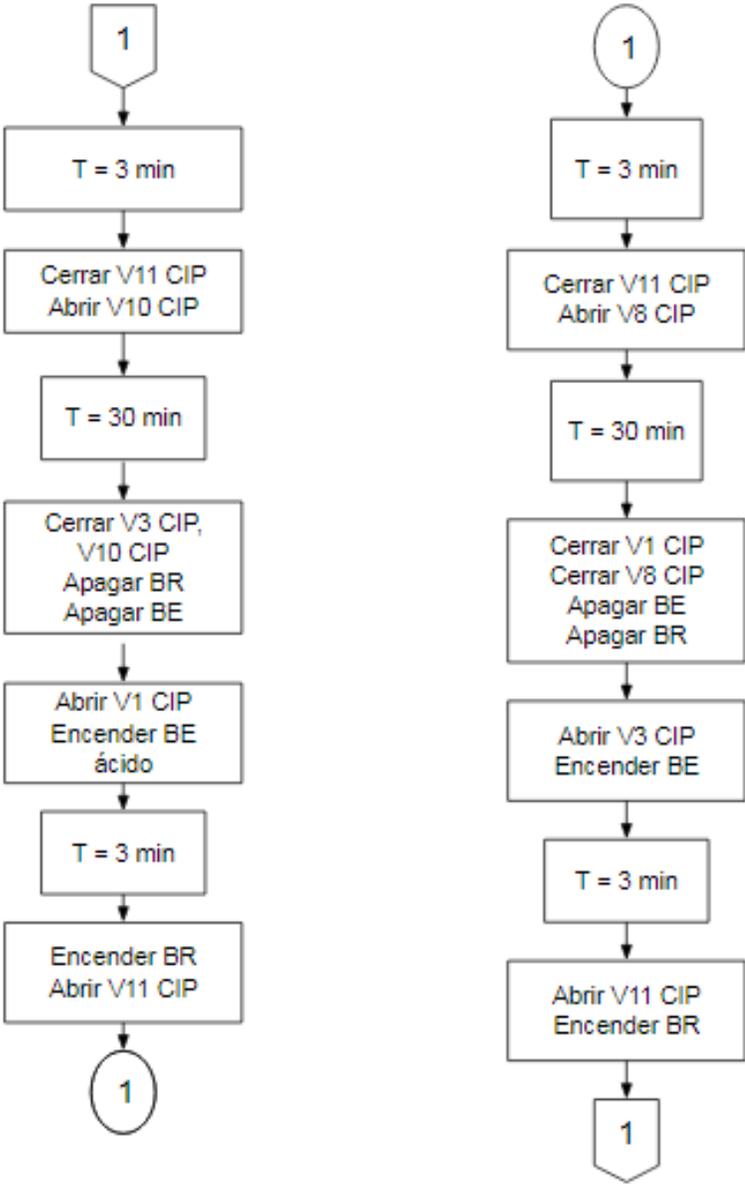
Figura 64. Diagrama de flujo de la limpieza CIP del silo uno

3.11.4.2 Algoritmo para limpieza CIP del silo dos

Este algoritmo toma las mismas características que el del silo uno, cambiando las válvulas que permitan el lavado del silo dos. En la Figura 65 se muestra el diagrama de flujo.







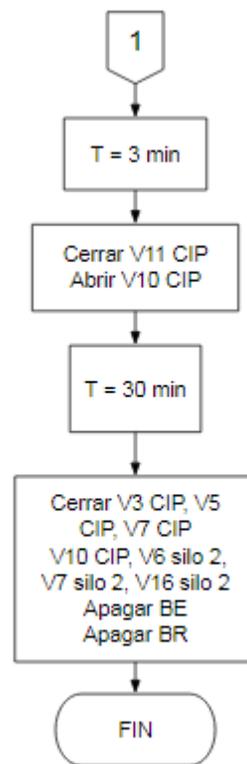
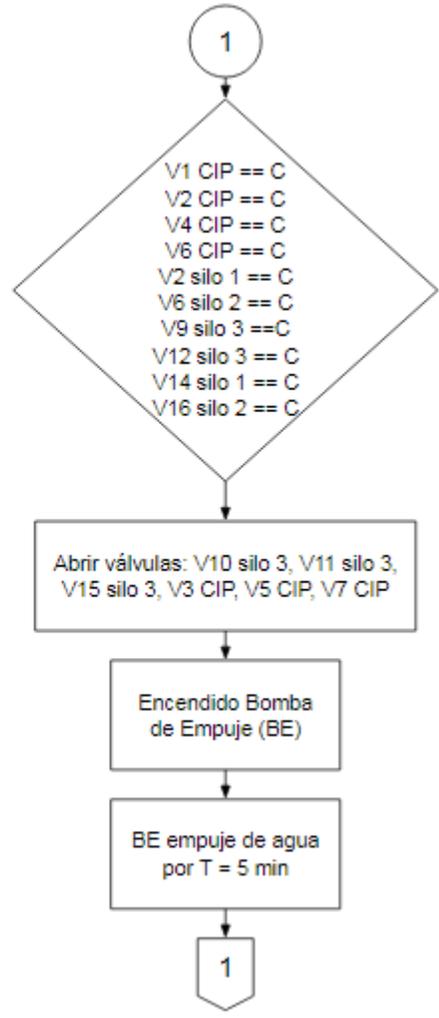
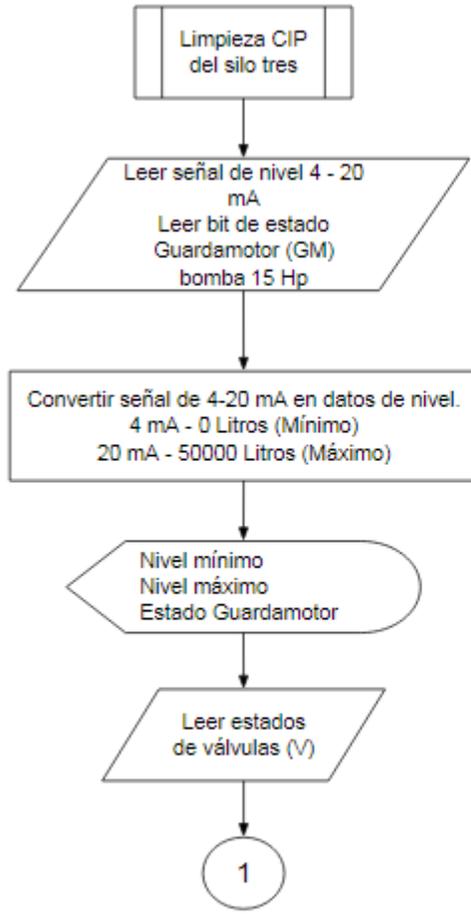
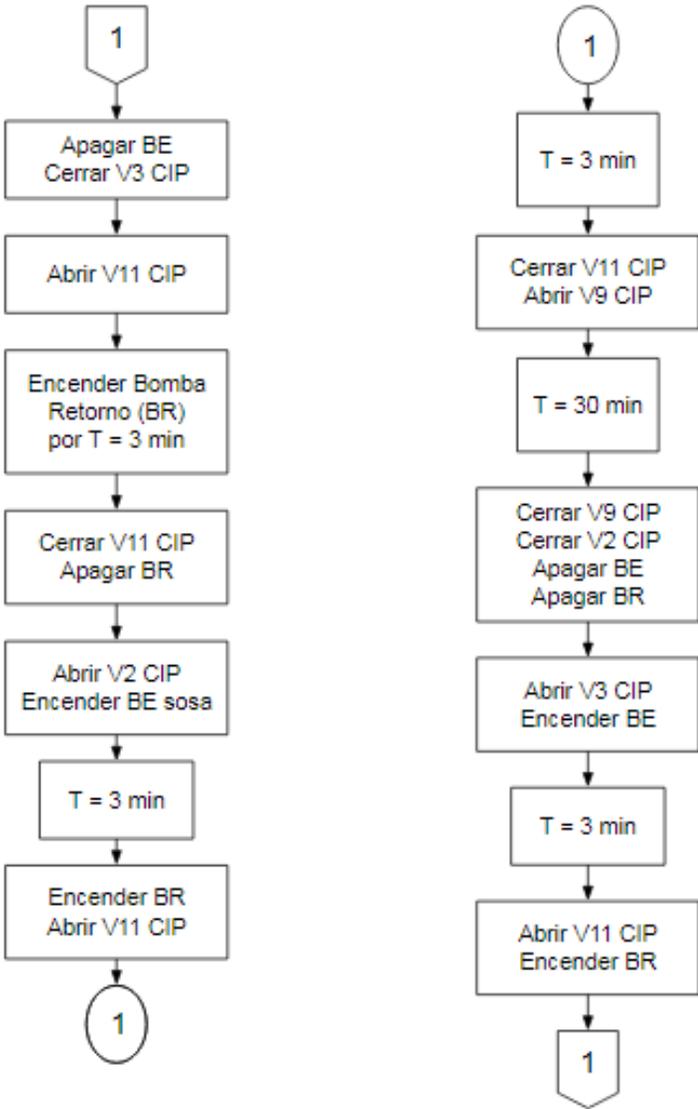


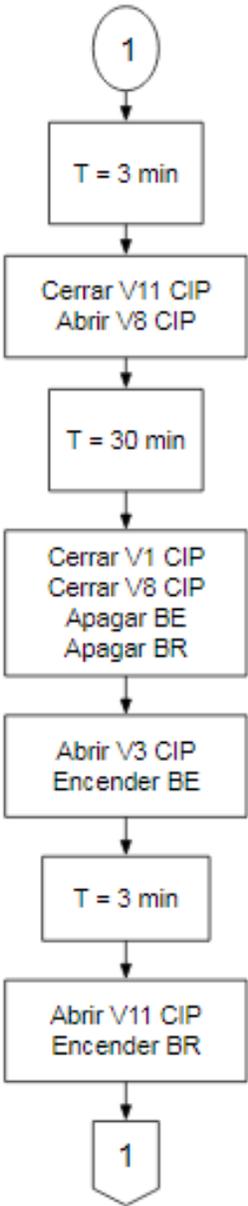
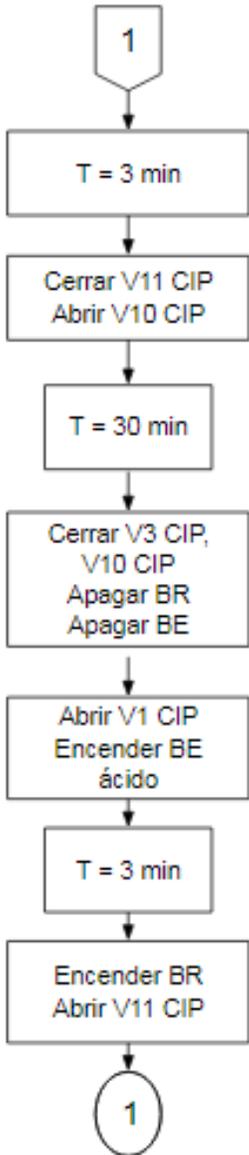
Figura 65. Diagrama de flujo de la limpieza CIP del silo dos

3.11.4.3 Algoritmo para limpieza CIP del silo tres

Este algoritmo toma las mismas características mostrados en los silos uno y dos, cambiando las válvulas que permitan el lavado del silo tres. En la Figura 66 se muestra el diagrama de flujo.







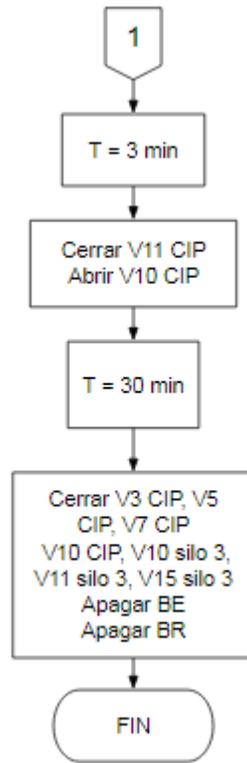
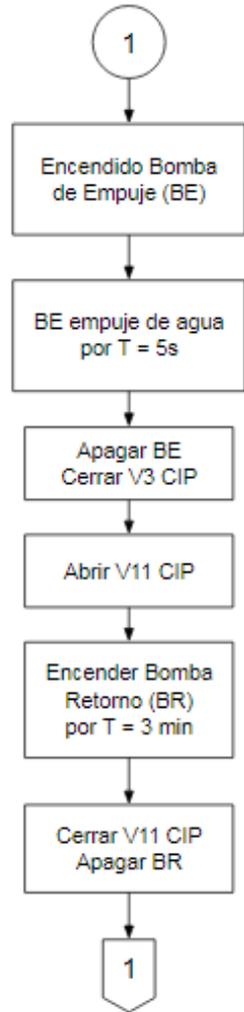
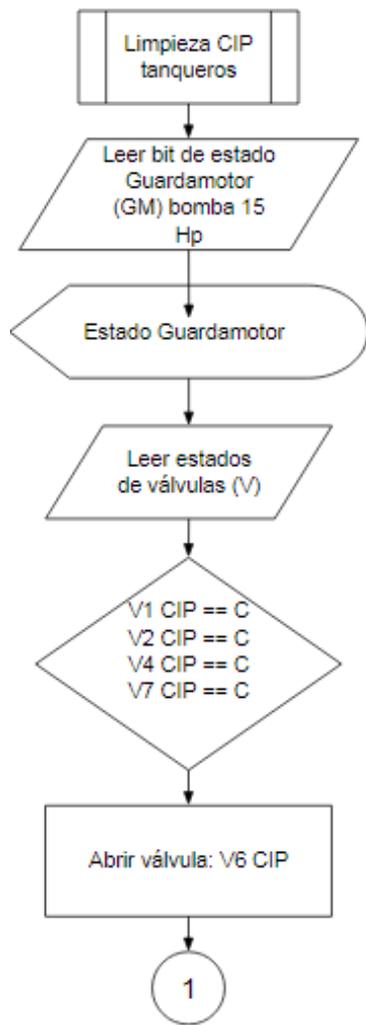
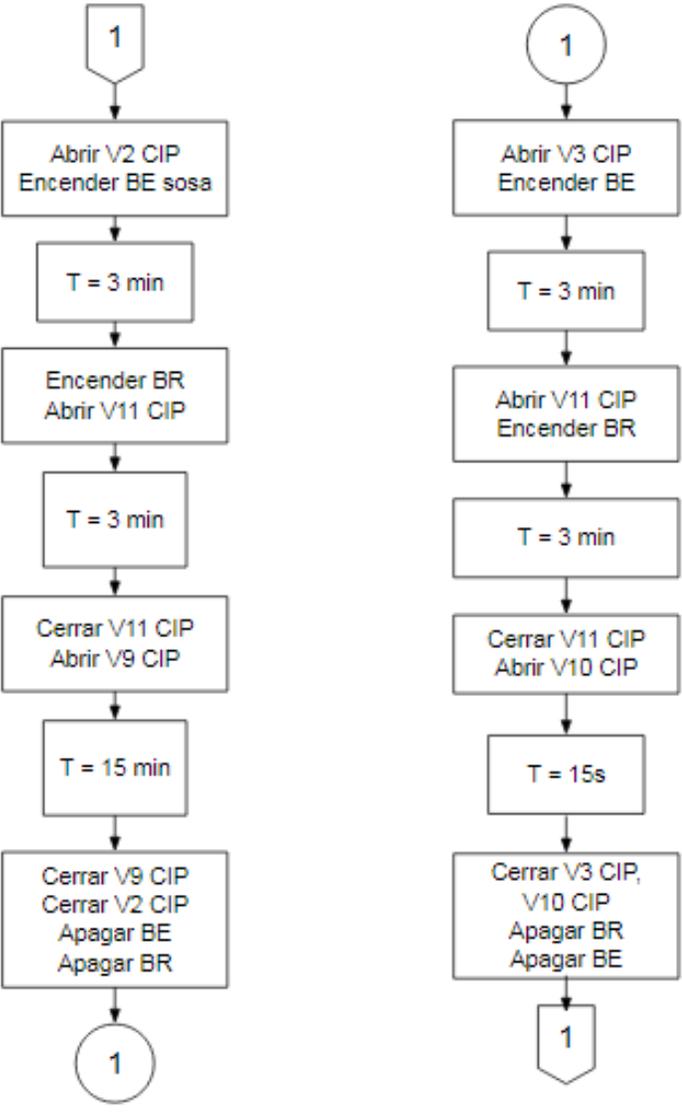


Figura 66. Diagrama de flujo de la limpieza CIP del silo tres

3.11.4.4 Algoritmo para limpieza CIP de tanqueros

En la Figura 67 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de limpieza de tanqueros. Este algoritmo toma las mismas características de la limpieza CIP utilizada en los silos cambiando tiempos de lavado y las condiciones de las válvulas neumáticas.





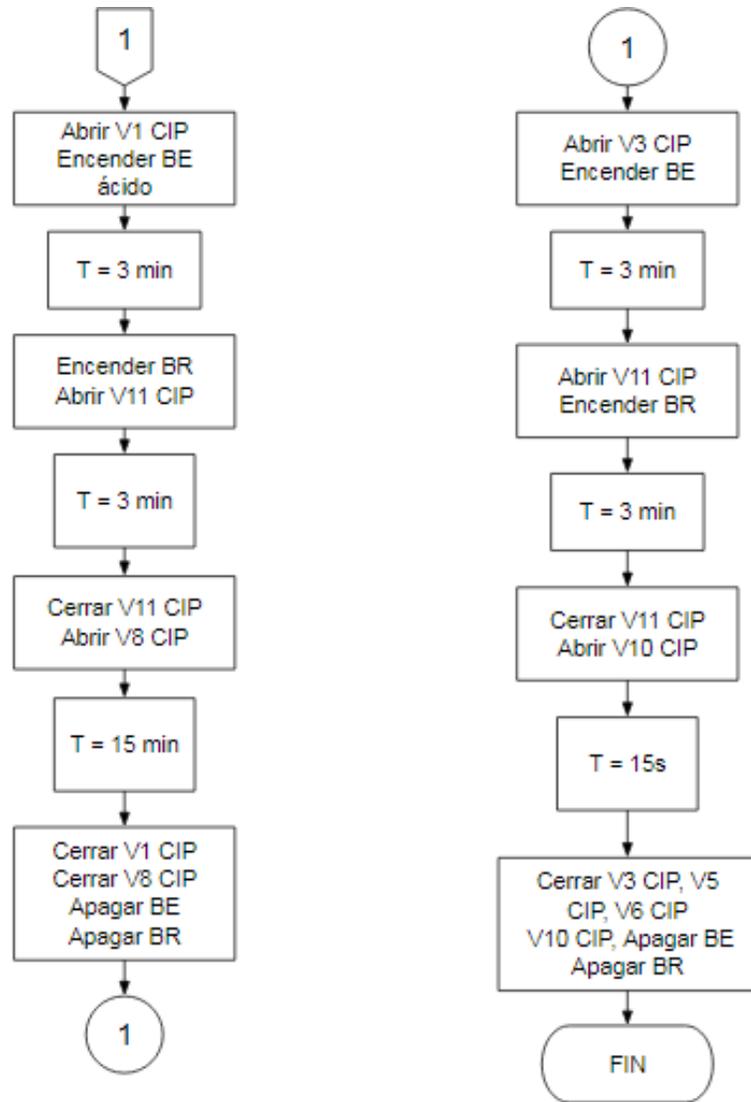
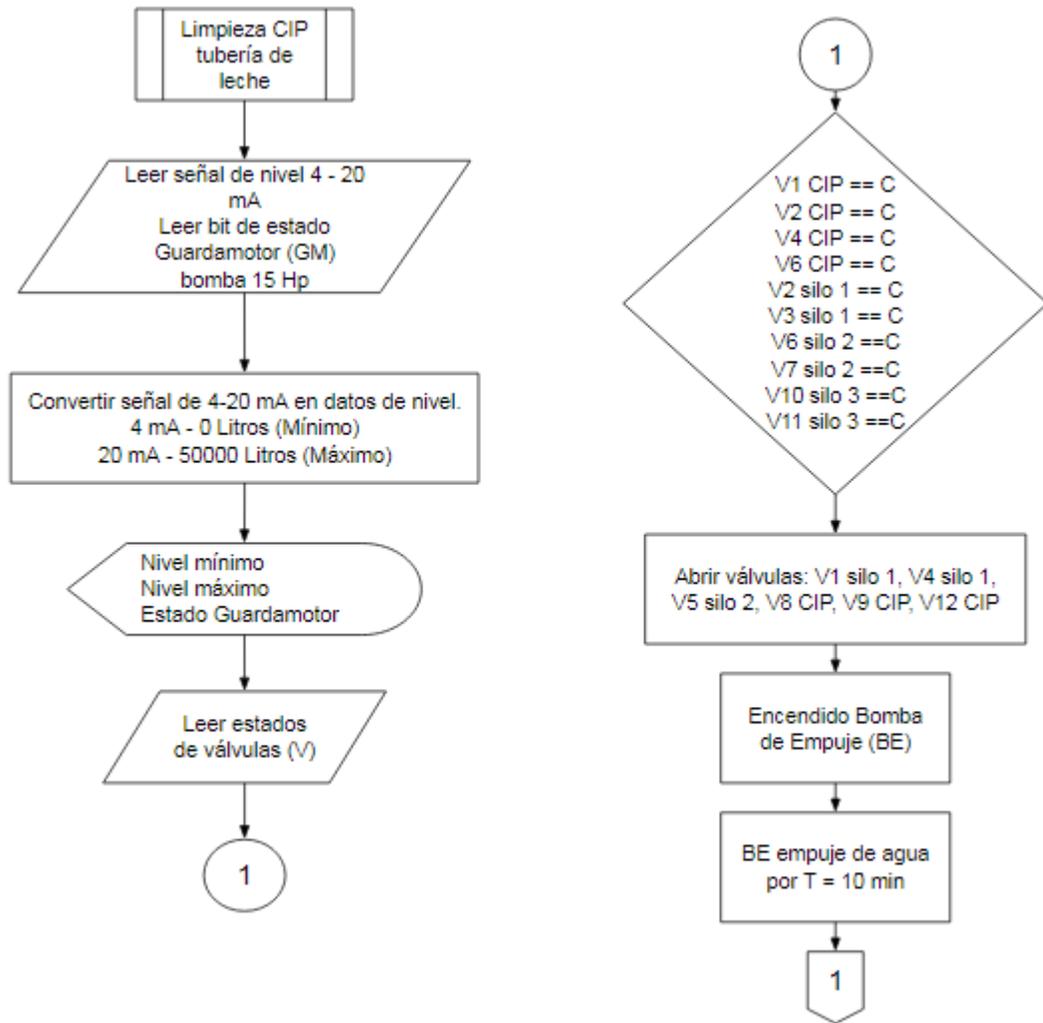
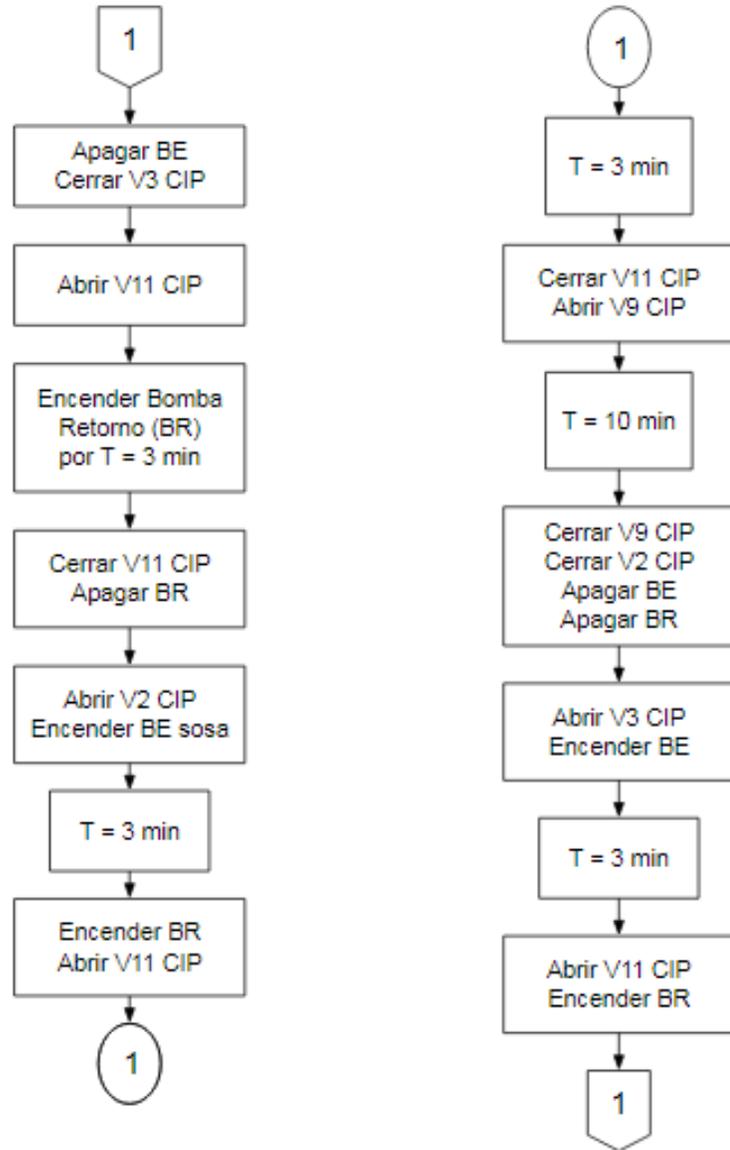


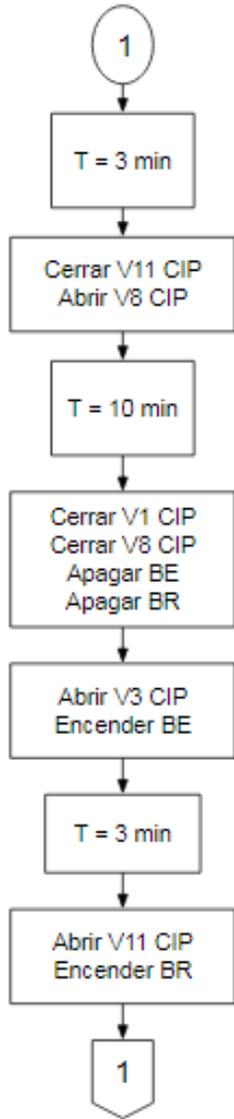
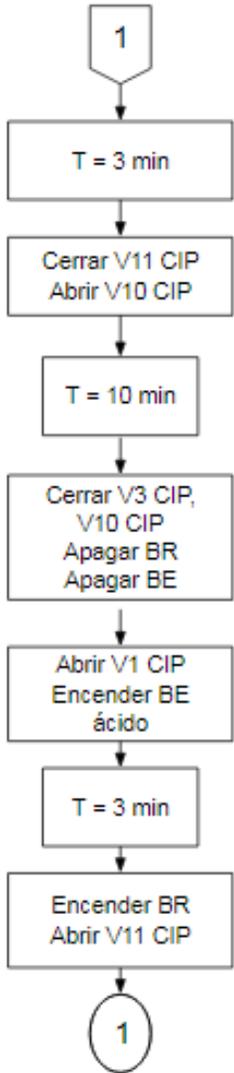
Figura67. Limpieza CIP tanqueros

3.11.4.5 Algoritmo para limpieza de la tubería de leche

En la Figura 68 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de limpieza de la tubería de leche. Este algoritmo toma las mismas características de las demás limpiezas CIP anteriormente explicadas cambiando en tiempos y estados de válvulas.







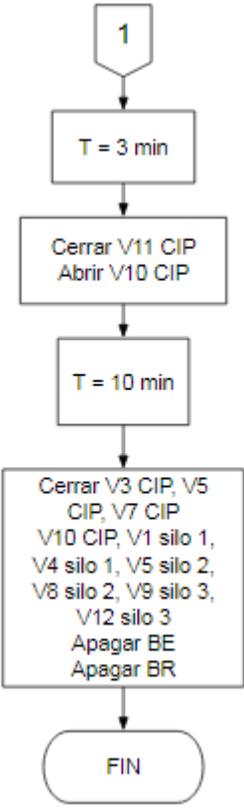


Figura 68. Limpieza CIP tubería de leche

Capítulo IV

CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se detalla el proceso de construcción, las pruebas de funcionamiento y los resultados de los mismos.

4 CONSTRUCCIÓN DE TRAMOS DE TUBERÍAS

La construcción de los tramos de tuberías se realizó de acuerdo al diseño presentado en el Anexo planos mecánicos. Los materiales utilizados para su construcción son:

- 8 tubos de acero inoxidable sanitario 316L, 2" de diámetro
- 27 codos a 90 grados de acero inoxidable sanitario 316L, 2" de diámetro
- 14 T de acero inoxidable de acero inoxidable sanitario 316L 2" de diámetro
- 57 ferrules de acero inoxidable sanitario 316L 2" de diámetro

En la Figura 69 se muestra el diagrama de construcción de los tramos de tuberías.

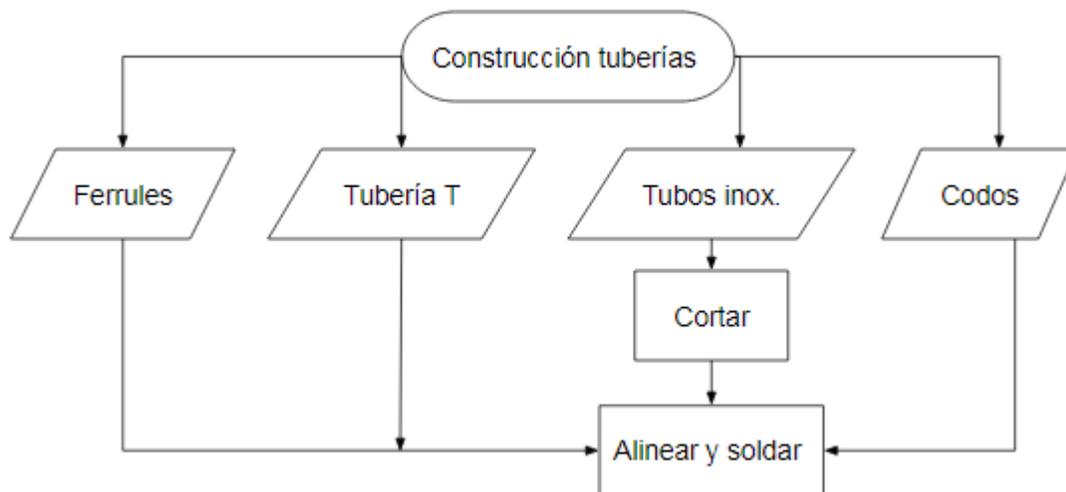


Figura 69. Diagrama de construcción de los tramos de tuberías

4.1 ARMADO DE LOS TRAMOS DE TUBERÍAS CON VÁLVULAS DE CONTROL

En las Figuras 70 y 71 se muestra el armado de las tuberías con las válvulas de control.



Figura 70. Armado de tramos de tuberías con válvulas de control



Figura 71. Armado de tramos de tuberías con válvulas de control

4.1.1 PROCESO DE SOLDADURA DE LAS TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE

El proceso de soldadura para la unión de tuberías y ferrules fue realizada mediante soldadura TIG, la cual, es utilizada para materiales de acero inoxidable y que no produce altas temperaturas evitando riesgo de deformaciones en el material.

El gas inerte utilizado durante la soldadura es el argón, este gas se utiliza debido a que protege el arco del ambiente en el que se está soldando previniendo la contaminación en el cordón de soldadura, necesaria para tuberías de grado alimenticio.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DE TRAMOS DE TUBERÍAS Y REUBICACIÓN DEL SILO DE 20000 L

En la Figura 72 se muestra la reubicación del silo de 20000 L.



Figura 72 Reubicación silo 20000 L (izquierda)

En las Figuras 73 y 74 se muestran la conexión de las tuberías con las válvulas de control a los silos.



Figura 73. Conexión de tuberías y válvulas al silo de 50000 L



Figura 74. Conexión de tuberías y válvulas al silo de 20000 L

4.3 UBICACIÓN DEL SEGUNDO SILO DE 50000 L

La ubicación del segundo silo de 50000 L se realizó como se muestra en las Figuras 75, 76, 77 y 78.



Figura 75. Nuevo Silo de 50000 L



Figura 76. Comienzo de la ubicación del silo de 50000 L



Figura 77. Levantamiento del silo de 50000 L para su ubicación



Figura 78. Ubicación final del nuevo silo de 50000 L

4.4 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas se determinaron mediante el correcto funcionamiento del programa para controlar la apertura y cierre de las válvulas neumáticas de los diferentes procesos anteriormente explicados en la sección 3.10. A continuación se detallan las pruebas realizadas, así como, las complicaciones encontradas durante su funcionamiento y acciones correctivas para corregirlas.

4.4.1 PRUEBA DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y RETORNO CIP SILO UNO

Esta prueba se realizó mediante la lectura de los estados de las válvulas 2, 3, 13 y 14 que se encuentran en las tuberías para la limpieza y retorno CIP. En la Tabla 4.1 se observan los resultados obtenidos.

Tabla 4.1 Resultados para el proceso de limpieza y retomo CIP silo uno

#	Válvula 2	Válvula 3	Válvula 13	Válvula 14
1	Correcta apertura	Fallo en lectura de cierre	Fallo en lectura de cierre	Correcta apertura
2	Correcta apertura	Correcta apertura	Fallo en lectura de apertura	Correcta apertura
3	Correcta apertura	Correcta apertura	Correcta apertura	Correcta apertura

Fallas en prueba #1.- El fallo en la lectura de los sensores de cierre en las válvulas 3 y 13 se originó debido a una mala conexión en la tensión de alimentación del módulo de entradas digitales.

Solución de las fallas de la prueba #1.- Revisión de voltaje y cableado en los terminales del módulo de entradas digitales.

Fallas en prueba #2.- Fallo en la presión de aire a la entrada de la válvula y mala posición del sensor de apertura de la válvula 13.

Solución de las fallas de la prueba #2.- Revisión de fugas en las mangueras de aire a la entrada de las válvulas, presión adecuada de aire y calibración del sensor de apertura de la válvula 13

Al solucionar los fallos encontrados durante las dos primeras pruebas, la tercera prueba resultó en el correcto funcionamiento de las válvulas y por ende el correcto funcionamiento en el proceso de limpieza y retorno CIP del silo uno.

4.4.1.1 Prueba de URL de la limpieza y Retorno CIP del silo uno

Al final de cada limpieza de silos se utiliza el método de bioluminiscencia determinando el contenido de ATP (Adenosin trifosfato). El ATP es el compuesto que almacena la energía en las células vivas presentes en los alimentos. La medida del ATP permite

indicar en tiempo real si la limpieza de las superficies se realizó de manera correcta y a la vez corregir problemas antes de cualquier operación.

Para determinar si la limpieza fue correcta o no, la URL tienen dos indicadores: URL mínima y URL máxima. La empresa “La Holandesa” tienen los siguientes indicadores que se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Indicadores URL limpieza CIP silos

Límites URL en la limpieza CIP		
Límite inferior	=< 150	Pasa
Límite superior	=> 151	Falla

En la Tabla 4.3 se muestra las tres muestras tomadas antes de la implementación la nueva red de tuberías y la cuarta muestra después de su implementación.

Tabla 4.3 Pruebas de URL en silo de 50000 L

Nº	Fecha	Superficie/Silo	Resultado (URL)	Estado	Acción correctiva
1	27/07/2018	SILO DE 50000 L	370	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
2	27/07/2018	SILO DE 50000 L	699	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
3	28/07/2018	SILO DE 50000 L	717	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
4	24/08/2018	SILO DE 50000 L	68	PASA	

Como se observa en la tabla anterior las primeras tres muestras sobrepasan de gran manera los 150 URL determinando que la limpieza no fue la adecuada y cuya acción correctiva es volver a lavar el silo y verificar la limpieza hasta que los URL se encuentren dentro del límite inferior. La cuarta muestra se realizó después de la implementación de la nueva red de tuberías teniendo un URL de 68 mucho menor que las primeras tres, con esto se demuestra que el sistema de teléfono que se muestra en la Figura 79 disminuía la presión ejercida por la bomba de limpieza provocando una mala limpieza en la superficie del silo.

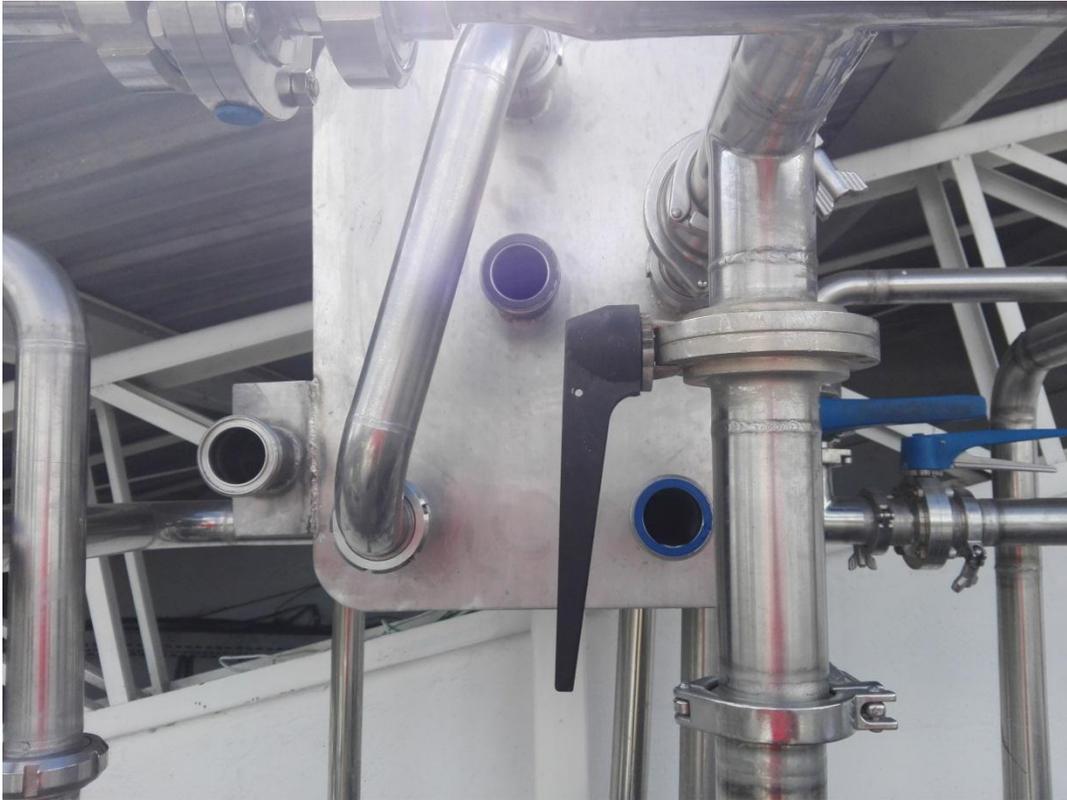


Figura 79. Sistema de teléfono anteriormente instalado para limpieza CIP

4.4.2 PRUEBA DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y RETORNO CIP SILO TRES

Esta prueba se realizó mediante la lectura de los estados de las válvulas 10, 11, 15 que se encuentran en las tuberías para la limpieza y retorno CIP. En la Tabla 4.4 se observan los resultados obtenidos.

Tabla 4.4 Resultados para el proceso de limpieza y retorno CIP silo tres

#	Válvula 10	Válvula 11	Válvula 15
1	Correcta apertura	Correcta apertura	Fallo en lectura de apertura
2	Correcta apertura	Correcta apertura	Correcta apertura

Fallas en prueba #1.- El fallo en la lectura de apertura de la válvula 15 se originó por una mala asignación de la variable de activación en el programa de control.

Solución de las fallas de la prueba #1.- Revisión de las variables de activación de las válvulas en el programa y carga de esta en el PLC.

4.4.2.1 Prueba de URL de la limpieza y Retorno CIP del silo tres

En la Tabla 4.5 se observan los datos de URL del silo de 20000 L antes y después de la implementación de la nueva tubería.

Tabla 4.5 Pruebas de URL en silo de 20000 L

Nº	Fecha	Superficie/Silo	Resultado (URL)	Estado	Acción correctiva
1	16/06/2018	20000L	548	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
2	16/06/2018	20000L	145	PASA	NA
3	21/06/2018	20000L	150	PASA	NA
4	30/06/2018	20000L	150	PASA	NA
5	01/07/2018	20000L	255	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
6	01/07/2018	20000L	145	PASA	NA
7	07/07/2018	20000L	570	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
8	07/07/2018	20000L	393	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
9	07/07/2018	20000L	388	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
10	07/07/2018	20000L	104	PASA	NA
11	20/07/2018	20000L	844	FALLA	VOLVER A LAVAR Y VERIFICAR
12	20/07/2018	20000L	145	PASA	NA
13	18/08/2018	20000L	150	PASA	
14	25/08/2018	20000L	132	PASA	

Como se observa en la anterior tabla las URL en la limpieza del silo de 20000 L son bastantes irregulares teniendo hasta un URL máximo de 844 teniendo que lavar el silo hasta que el índice disminuya, esto debe repetirse las veces necesarias hasta lograr el

índice adecuado. Con la nueva tubería la primera prueba registró un URL de 132, la más baja de todas sin tener que realizar un segundo lavado.

4.4.3 PRUEBA DEL PROCESO DE LIMPIEZA DE LA TUBERÍA DE LECHE

La prueba para realizar este proceso es la lectura de los estados de las válvulas neumáticas, en la Tabla 4.6 se observa los resultados obtenidos.

Tabla 4.6 Resultados para el proceso de limpieza y retomo CIP silo uno

#	Válvula 1	Válvula 4	Válvula 5	Válvula 8	Válvula 9	Válvula 12
1	Correcta apertura					
2	Correcta apertura					
3	Correcta apertura					

Durante esta prueba no se encontró ningún problema en la lectura de los sensores ni durante el envío de las señales de control a las válvulas.

4.4.4 PRUEBA DEL PROCESO DE LLENADO SILO UNO

La prueba para realizar este proceso es la lectura de los estados de las válvulas neumáticas, en la Tabla 4.7 se observa los resultados obtenidos.

Tabla 4.7 Resultados para el proceso de llenado silo uno

#	Válvula 1	Válvula 3
1	Correcta apertura	Correcta apertura
2	Correcta apertura	Correcta apertura
3	Correcta apertura	Correcta apertura

Durante esta prueba no se encontró ningún problema en la lectura de los sensores ni durante el envío de las señales de control a las válvulas.

4.4.5 PRUEBA DEL PROCESO DE LLENADO SILO TRES

La prueba para realizar este proceso es la lectura de los estados de las válvulas neumáticas, en la Tabla 4.8 se observa los resultados obtenidos.

Tabla 4.8 Resultados para el proceso de llenado silo tres

#	Válvula 11	Válvula 12
1	Correcta apertura	Correcta apertura
2	Correcta apertura	Correcta apertura
3	Correcta apertura	Correcta apertura

Durante esta prueba no se encontró ningún problema en la lectura de los sensores ni durante el envío de las señales de control a las válvulas.

4.5 CÁLCULO DE COSTOS

En este apartado se muestran los diferentes costos de cada uno de los materiales, componentes electrónicos, tuberías, soldadura, mano de obra. En la Tabla 4.9 se muestra el costo correspondiente a material de control y en la Tabla 4.10 los costos del material eléctrico y gabinetes.

Tabla 4.9 Costo material de control

Descripción	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Valor Total(\$)
CPU 1511-1PN	1	1589,00	1.350,65
Módulo de 32 ED	2	750,00	1.275,00
Módulo de 32 SD	2	1069,00	1.817,30
Módulo de 8 AI	2	1449,00	2.463,30
Módulo de 16 SD	1	534,00	453,90
Switch Industrial X005	1	385,00	327,25
Conectores Frontales	7	89,00	529,55
SIMATIC memory card 4MB	1	142,00	120,70
Fuente SITOP 24Vdc/10A	1	459,00	390,15
Fuente de poder PM1507	1	360,00	306,00
Simatic HMI de 9"	1	2.530,00	2.150,50
Valor Total			\$11.184.30

Tabla 4.10 Costos Componentes Gabinete Principal y Secundario

Descripción	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Valor Total(\$)
Tablero modular 1650x600x400	1	447,00	402,30
Gabinete metálico 1000x600x400	1	163,00	142,70
Breaker riel DIN 2P- 16	2	19,70	33,49

Breaker riel DIN 2P-4A	4	27,90	94,86
Rele de Interfase	48	28,64	1168,51
Bornera	60	1,35	68,85
Materiales Varios	1	320,00	320,00
Valor total			\$2.234,71

En la Tabla 4.11 se muestran los costos de tuberías, mano de obra (Soldadura) y accesorios.

Tabla 4.11 Costo de tuberías, mano de obra y accesorios

Descripción	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Valor Total(\$)
Tubos de 2" acero inoxidable 316L	10	380,00	3.800,00
Ferrul de 2" acero inoxidable 316L	40	25,00	1.000,00
Codo 90 de 2" acero inoxidable 316L	32	26,5	848,00
Tubería en T de 2" acero inoxidable 316L	16	28,00	448,00
Mano de obra (Cordón de Soldadura)	116	36,00	4.176,00
Valor total			\$10.272,00

En la Tabla 4.12 se muestra los costos de las válvulas, bombas y silo 50000 L.

Tabla 4.12 Costos válvulas, bombas y silo 50000 L

Descripción	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Valor Total(\$)
Válvulas neumáticas C-TOP+	27	746,72	20.161,44
Bomba SE-26	1	3.741,52	3.741,52
Bomba SE-35	1	4.870,80	4.870,80

Bomba HCP SP 50-150	1	5,191,20	5,191,20
Silo 50000 L	1	51.000,00	51.000,00
Valor total			\$84.964,96

En la Tabla 4.13 se muestra el costo total del proyecto.

Tabla 4.13 Costo Total del Proyecto

Descripción	Valor Total(\$)
Material de control	\$11.184,30
Gabinete principal y secundario	\$2.234,71
Tuberías, mano de obras y accesorios	\$10.272,00
Válvulas, bombas y silo 50000 L	\$84.964,96
Costo Total	\$108.658,97

CONCLUSIONES

- Se documentó los diferentes procesos para la captación de leche como también los procesos y accesorios utilizados para la limpieza CIP de silos.
- Se diseñó e implementó la red de tuberías que permite la implementación de un tercer silo, así como, realizar las operaciones de limpieza CIP de silos, llenado de leche y envío a producción al mismo tiempo para reducir los tiempos de operación.
- La tubería se diseñó para un caudal de 30000 L/h demostrados en los cálculos mecánicos para los de llenado de silos, limpieza y retorno CIP.
- El sistema de válvulas fue diseñado para permitir realizar diferentes operaciones simultáneas en la nueva red de tuberías de los tres silos, el PLC fue capaz de enviar señales de control, así como, la lectura de los sensores de las válvulas.
- La eliminación de los sistemas de teléfonos reducen las pérdidas de carga en las tuberías generando que la presión de las bombas no decrezcan ofreciendo una mejor limpieza CIP en los silos de 50000 y 20000 L mostrados por los índices URL.
- La pantalla HMI permite conocer los estados de todas las válvulas de los tres silos y los diferentes procesos que se están realizando.
- El cálculo de las pérdidas en los tramos de tuberías y accesorios permite conocer las potencias necesarias de las bombas para realizar de manera óptima los diferentes procesos, como también, la selección del tipo de arranque a utilizar.
- La potencia de la bomba para el proceso de almacenaje de leche calculada fue de 5,58 kW y la seleccionada fue de 5,93 kW debido a su existencia en el mercado.
- La potencia de la bomba para el proceso de retorno CIP calculada fue de 4,86 kW y la seleccionada fue de 5,595 kW debido a su existencia en el mercado.
- La potencia de la bomba para el proceso de retorno CIP calculada fue de 10,15 kW y la seleccionada fue de 10,6 kW debido a su existencia en el mercado.
- El índice de URL se mejoró considerablemente para el silo de 50000 L en un 90%.

- El índice de URL se mejoró considerablemente para el silo de 20000 L en un 84,4%

RECOMENDACIONES

- Revisar que la presión de aire a la entrada de las válvulas estén entre 6 a 8 bar de presión para que no exista una mala lectura de los sensores de las válvulas.
- Revisar que no existan fugas a lo largo de las mangueras que distribuyen el aire a todas las válvulas neumáticas.
- Realizar pruebas de limpieza en cada silo antes de empezar el proceso de llenado en cada silo.
- Revisar en el HMI que las señales de las válvulas estén representadas en esta para proceder a realizar cualquier operación.
- Revisar que las tuberías unidas con ferrul estén bien acopladas para que no exista fuga de leche, agua o sustancias químicas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 69.
- [2]G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 70.
- [3]G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 70.
- [4]G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 70.
- [5]*Mangueras Industriales Termoplásticas*. 2014, p. 16.
- [6]*Mangueras Industriales Termoplásticas*. 2014, p. 16.
- [7]*Mangueras Industriales Termoplásticas*. 2014, p. 17.
- [8]*Mangueras Industriales Termoplásticas*. 2014, p. 17.
- [9]"AE Eliminador de Aire Medición de Flujo Productos | Anderson-Negele Mexico", *Anderson-negele.com*, 2015. [Online]. Available: <https://www.anderson-negele.com/mx/p/medicion-de-flujo/ae/>. [Accessed: 16- Nov- 2017].
- [10]"Bombas para leche", *Jung-process-systems.de*. [Online]. Available: <https://www.jung-process-systems.de/es/glosario-de-bombas/bombas-para-leche.html>. [Accessed: 18- Nov- 2017].
- [11]"Bomba Centrífuga HYGINOX SE - Bombas centrífugas INOXPA", *Inoxpa.es*. [Online]. Available: <http://www.inoxpa.es/productos/producto/bomba-centrifuga-hyginox-se>. [Accessed: 17- Nov- 2017].
- [12]"Bomba Lobular Rotativa HLR - Bombas volumétricas INOXPA", *Inoxpa.es*. [Online]. Available: <http://www.inoxpa.es/productos/producto/bomba-lobular-rotativa-hlr>. [Accessed: 17- Nov- 2017].
- [13]"Bomba de Canal Lateral ASPIR - Bomba autocebante INOXPA", *Inoxpa.es*. [Online]. Available: <http://www.inoxpa.es/productos/producto/bomba-de-canal-lateral-aspir>. [Accessed: 17- Nov- 2017].

[14]"Filtros 81700/82700/83700 - Válvulas y accesorios INOXPA", *Inoxpa.es*. [Online]. Available: <http://www.inoxpa.es/productos/producto/filtros-817008270083700>. [Accessed: 17- Nov- 2017].

[15]"Caudalímetros o contadores Electromagnéticos - ContaFlow", *ContaFlow*. [Online]. Available: <https://caudalimetrosyautomatizacion.com/caudalimetros/electromagneticos/>. [Accessed: 18- Nov- 2017].

[16]"Caudalímetro electromagnético", *Es.omega.com*. [Online]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/caudalimetros-magneticos.html>. [Accessed: 18- Nov- 2017].

[17]"P 300 - Caudalímetro electromagnético / para fluidos corrosivos / compacto / digital by Endress+Hauser AG | DirectIndustry", *Directindustry.es*. [Online]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/endress-hauser-ag/product-4726-1922223.html>. [Accessed: 18- Nov- 2017].

[18]*Machinepoint.com*. [Online]. Available: [https://www.machinepoint.com/machinepoint/WebCont.nsf/IDCatalogs/3000173/\\$FILE/tanques%20de%20almacenamiento.pdf](https://www.machinepoint.com/machinepoint/WebCont.nsf/IDCatalogs/3000173/$FILE/tanques%20de%20almacenamiento.pdf). [Accessed: 19- Nov- 2017].

[19]G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 71.

[20]*Spxflow.com*, 2011. [Online]. Available: https://www.spxflow.com/en/assets/pdf/CIP_Systems_22003_05_02_2013_GB_tcm11-7665.pdf. [Accessed: 19- Nov- 2017].

[21]G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 408.

[22]G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 408.

[23]*Spxflow.com*, 2011. [Online]. Available: https://www.spxflow.com/en/assets/pdf/CIP_Systems_22003_05_02_2013_GB_tcm11-7665.pdf. [Accessed: 19- Nov- 2017].

[24] *Spxflow.com*, 2011. [Online]. Available: https://www.spxflow.com/en/assets/pdf/CIP_Systems_22003_05_02_2013_GB_tcm11-7665.pdf. [Accessed: 19- Nov- 2017].

[25] *Spxflow.com*, 2011. [Online]. Available: https://www.spxflow.com/en/assets/pdf/CIP_Systems_22003_05_02_2013_GB_tcm11-7665.pdf. [Accessed: 19- Nov- 2017].

[26] *Spxflow.com*, 2011. [Online]. Available: https://www.spxflow.com/en/assets/pdf/CIP_Systems_22003_05_02_2013_GB_tcm11-7665.pdf. [Accessed: 19- Nov- 2017].

[27] "Soluciones | Edelflex", *Edelflex*. [Online]. Available: <http://www.edelflex.com/es/soluciones-ficha/estaticos-19>. [Accessed: 20- Nov- 2017].

[28] "Soluciones | Edelflex", *Edelflex*. [Online]. Available: <http://www.edelflex.com/es/soluciones-ficha/rotativos-22>. [Accessed: 20- Nov- 2017].

[29] "Soluciones | Edelflex", *Edelflex*. [Online]. Available: <http://www.edelflex.com/es/soluciones-ficha/orbitales-20>. [Accessed: 20- Nov- 2017].

[30] G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 409.

[31] "CIP Basic be", Nestlé.

[32] "CIP Basic be", Nestlé.

[33] G. Bylund, *Dairy processing handbook*. Lund: Teknotext AB, 1995, p. 166.

[34] "GENEBRE: V.MARIPOSA CLAMP C/ACTUADOR: Válvula mariposa extremos Clamp", *Genebre.es*, 2014. [Online]. Available: <https://www.genebre.es/vmariposa-clamp-c-actuador>. [Accessed: 21- Nov- 2017].

[35] "Cabezal de Control C-TOP+ - Válvulas y accesorios INOXPA", *Inoxpa.es*. [Online]. Available: <http://www.inoxpa.es/productos/producto/cabezal-de-control-c-top>. [Accessed: 21- Nov- 2017].

[36]"Sensores ultrasónicos serie F65 para la medición de nivel", *Pepperl-fuchs.com*. [Online]. Available: <https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/22534.htm>. [Accessed: 22- Nov- 2017].

[37]"Conmutadores de valor límite capacitivos", *Pepperl+Fuchs*. [Online]. Available: https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_488.htm. [Accessed: 22- Nov- 2017].

[38]"Detección de nivel capacitiva - Liquicap FTI52 | Endress+Hauser", *Cl.endress.com*. [Online]. Available: <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/deteccion-nivel-capacitiva-liquicap>. [Accessed: 22- Nov- 2017].

[39]"KING-GAGE - Liquid Level Tank Gauging and Compressed Air Filtration", *King-gage.com*. [Online]. Available: <http://www.king-gage.com/products/tank-level-gauging/liquid-level-transmitters.html?start=5>. [Accessed: 24- Nov- 2017].

[40]"Sondas de cable para distintas aplicaciones | Endress+Hauser", *Cl.endress.com*. [Online]. Available: <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-temperatura/sondas-cable-medicion-temperatura>. [Accessed: 24- Nov- 2017].

[41]C. Riba, *Diseño Concurrente*. 2002, p. 85.

[42]C. Riba, *Diseño Concurrente*. 2002, p. 126.

[43]": tableros eléctricos :: automatización :: hh sas ::", *Electricosytableroshhs.com.co*. [Online]. Available: <http://www.electricosytableroshhs.com.co/>. [Accessed: 28- Nov- 2017].

[44]"Pantallas HMI - El Futuro de la Industria - Siemens", *W5.siemens.com*. [Online]. Available: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/pages/pantallashmi.aspx>. [Accessed: 28- Nov- 2017].

[45]*Festo.com*. [Online]. Available: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/CECC_ES.PDF. [Accessed: 02- Dec- 2017].

- [46]"Válvula de Mariposa 4800 - Válvulas y accesorios INOXPA", *Inoxpa.es*. [Online]. Available: <http://www.inoxpa.es/productos/producto/valvula-de-mariposa-4800>. [Accessed: 02- Dec- 2017].
- [47]"OPTIBAR LC 1010 - Sensor de nivel capacitivo / para líquido / de acero inoxidable / sumergible by KROHNE Messtechnik | DirectIndustry", *Directindustry.es*. [Online]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/krohne-messtechnik/product-5863-1810218.html>. [Accessed: 03- Dec- 2017].
- [48]C. Riba, *Diseño Concurrente*. 2002, p. 126-60.
- [49]R. Mott, 6th ed. México: Pablo Miguel Guerrero Rosas, 2006, p. 230.
- [50]R. Mott, 6th ed. México: Pablo Miguel Guerrero Rosas, 2006, p. 231.
- [51]R. Mott, 6th ed. México: Pablo Miguel Guerrero Rosas, 2006, p. 232.
- [52]s. physicists, "DISEÑO BÁSICO DE UNA MICROTURBINA PELTON", *Physicsspectres.blogspot.com*. [Online]. Available: <http://physicsspectres.blogspot.com/2014/10/disen-basico-de-una-microturbina.html>. [Accessed: 08- Dec- 2017].
- [53]A. Anaya-Durand, G. Cauich-Segovia, O. Funabazama-Bárceñas and V. Gracia-Medrano-Bravo, "Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías". México, p. 130, 2014.
- [54]*General Engineering Data*. 2013, p. 6.
- [55]R. Mott, 6th ed. México: Pablo Miguel Guerrero Rosas, 2006, p. 297.
- [56]R. Mott, 6th ed. México: Pablo Miguel Guerrero Rosas, 2006, p. 321
- [57]"Arranque mediante pulsador y parada temporizada. - Formación para la Industria 4.0", *Formación para la Industria 4.0*. [Online]. Available: <https://automatismoiindustrial.com/d-automatizacion/1-6-logica-cableada/arranque-mediante-pulsador-y-parada-temporizada/>. [Accessed: 15- Aug- 2018].

[58]M. Leyva and A. Buscapolos, "¿Cómo calculo los componentes para un arranque Estrella-Triangulo?", *Todoexpertos*, 2018. [Online]. Available: <https://www.todoexpertos.com/preguntas/8ntet8rf533eukfr/como-calculo-los-componentes-para-un-arranque-estrella-triangulo>. [Accessed: 15- Aug- 2018].

[59]"ARRANCADOR SUAVE SIRIUS, S2, 72A, 37KW/400V", *Solucionesyservicios.biz*. [Online]. Available: <https://www.solucionesyservicios.biz/3RW4038-1BB14>. [Accessed: 15- Aug- 2018].

[60]*Cache.industry.siemens.com*, 2016. [Online]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/492/68020492/att_895877/v1/s71500_cpu15_11_1_pn_manual_es-ES_es-ES.pdf. [Accessed: 08- Jan- 2018].

[61]"SIOS", *Support.industry.siemens.com*. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/136172?ptdi=pi&dl=en&lc=en-WW>. [Accessed: 08- Jan- 2018].

[62]*Inoxpa.es*. [Online]. Available: <http://www.inoxpa.es/uploads/document/Manuals%20de%20instruccions/Components/Valvules%20i%20accessoris/Automatitzaci%C3%B3/C-TOP%20plus/8046722d4.pdf>. [Accessed: 10- Jan- 2018].

[63]*Cache.industry.siemens.com*, 2016. [Online]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/896/59192896/att_900774/v1/s71500_di_32x24vdc_hf_manual_es-ES_es-ES.pdf. [Accessed: 15- Jan- 2018].

[64]"Series 38 - Interfaces modulares con relé (EMR o SSR) 0.1-2-6-8 A", *Findernet.com*. [Online]. Available: <https://www.findernet.com/es/spain/products/families/10/series/38>. [Accessed: 26- Jan- 2018].

[65]*Módulo de entradas analógicas AI 8xU/I/RTD/TC ST*, 16th ed. 2016, p. 11.

[66] *Siemens-pro.ru*, 2014. [Online]. Available: https://www.siemens-pro.ru/docs/scalance/x-000/BA_SCALANCE-X005-X005TS_76_en-US.pdf. [Accessed: 27- Jan- 2018].

[67] "Detalles del producto - Industry Mall - Siemens Spain", *Mall.industry.siemens.com*. [Online]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6EP1334-3BA10>. [Accessed: 02- Feb- 2018].

[68] *Support.industry.siemens.com*, 2017. [Online]. Available: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/59193106/et200mp_im_155_5_pn_st_manual_en-US_en-US.pdf?download=true. [Accessed: 08- Feb- 2018].