



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE
QUÍMICOS PARA CALDERAS DE BAJA PRESIÓN EN LA
EMPRESA TERMOESMERALDAS

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JENNIFER KATHERINE SALAMEA URGILEZ

DIRECTOR: ING. DARÍO FERNANDO GUAMÁN LOZADA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Jennifer Katherine Salamea Urgilez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jennifer Katherine Salamea Urgilez, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de abril de 2024



Jennifer Katherine Salamea Urgilez

C.I. 060625938-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS PARA CALDERAS DE BAJA PRESIÓN EN LA EMPRESA TERMOESMERALDAS**, realizado por la señorita: **JENNIFER KATHERINE SALAMEA URGILEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Camilo Pavel Haro Barroso, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-04-15
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada, MsC. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-04-15
Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos, Mgs. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-04-15

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico principalmente a Dios por llenarme de bendiciones día a día y permitir cumplir poco a poco mis objetivos, y gracias a la fe que tengo he podido superar cada una de las dificultades que se me han presentado durante todo el proceso de obtención de mi título universitario y que con su bendición hoy estoy logrando una de mis mayores metas.

A mi papá, Juan, el amigo incondicional que me enseñó a trabajar por mis sueños y quien tuvo fe en mí siempre a pesar de su enfermedad. Te agradezco por ser la inspiración detrás de cada uno de mis logros y aunque ya no estás físicamente a mi lado, sé que estás conmigo en espíritu, y te dedico esta tesis como un homenaje a tu amor y apoyo eternos.

A mi mamá, Blanca, cuya dedicación y amor han sido la base de mi vida y éxito académico ya que, sin tu apoyo incondicional y tus sabias palabras, esta tesis no habría sido posible. Gracias por ser mi guía, mi refugio y mi inspiración en cada paso del camino y deseo que esta tesis sea un tributo a tu amor y sacrificio, y espero hacerte sentir orgullosa con este logro.

A mi hermano, Ronaldo, quien ha sido una fuente constante de inspiración y motivación para mí tanto en mi vida académica como personal. Tu apoyo ha sido fundamental para lograr culminar esta tesis, gracias por ser mi compañero y por enseñarme la importancia del esfuerzo, la dedicación y el trabajo constante. Espero que este trabajo sea el inicio de un camino lleno de logros y éxitos en nuestra vida profesional y personal.

Jennifer

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios principalmente por darme salud y vida para cumplir este sueño tan anhelado, y por haberme dado paciencia y sabiduría a lo largo de mi formación profesional.

A mis padres, Juan y Blanca, y a mi hermano, Ronaldo, por su apoyo incondicional y por estar siempre presentes en todos los momentos buenos o malos que sin ustedes no estaría hoy cumpliendo esta meta. También quiero agradecerles por creer en mí y por ayudarme a seguir adelante cuando las cosas se ponían difíciles.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimientos académicos, valores, principios y ética a lo largo de la formación de mi carrera.

A mi director, Ing. Darío Guamán, a mi asesora, Ing. Mónica Andrade, y a mi anterior director, Ing. Adrián Rodríguez, los mismos que con su apoyo se hizo posible la realización de este trabajo de investigación. Agradezco sus instrucciones, conocimientos, experiencias y consejos a lo largo de todo el proceso de investigación y redacción de mi tesis.

A mis amigos Genesis, Britany, Kevin, Edwin, Cristian y Fabricio, por todo su aporte de conocimientos y apoyo moral que me han brindado durante este proceso de realización de mi tesis. Agradezco su incondicional amistad, sus palabras de aliento y sus innumerables horas de compañía a lo largo de mi vida académica y personal.

Jennifer

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	3
1.1	Antecedentes.....	3
1.2	Planteamiento del problema.....	3
1.3	Justificación.....	4
1.4	Objetivos.....	5
1.4.1	<i>Objetivo General</i>	5
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>.....	5

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO	6
2.1	Antecedentes de investigación	6
2.2	Referencias Teóricas	6
2.2.1	<i>Caldera</i>	6
2.2.2	<i>Tipos de calderas</i>	7
2.2.3	<i>Ciclo del agua</i>.....	10
2.2.4	<i>HRSG</i>	10
2.2.5	<i>Calidad del agua</i>	11
2.2.6	<i>Problemas del agua</i>.....	12
2.2.7	<i>Problemas comunes en calderas</i>	13
2.2.7.1	<i>Corrosión</i>.....	13

2.2.7.2	<i>Incrustación</i>	14
2.2.7.3	<i>Arrastre y formación de espuma</i>	14
2.2.7.4	<i>Embancamiento</i>	15
2.2.7.5	<i>Fragilidad cáustica</i>	15
2.2.8	<i>Tratamiento para agua de calderas</i>	16
2.2.8.1	<i>Tratamientos físicos</i>	16
2.2.8.2	<i>Tratamientos químicos</i>	17
2.2.8.3	<i>Tratamientos térmicos</i>	18
2.2.8.4	<i>Tratamientos mixtos</i>	18
2.2.8.5	<i>Tratamientos eléctricos</i>	18
2.2.9	<i>Vapor</i>	19
2.2.10	<i>Calidad del vapor</i>	19
2.2.11	<i>Pureza del vapor</i>	19
2.2.12	<i>Saturación</i>	19
2.2.13	<i>Eficiencia</i>	20
2.2.13.1	<i>Eficiencia de combustión</i>	20
2.2.13.2	<i>Eficiencia térmica</i>	21
2.2.13.3	<i>Eficiencia directa</i>	21
2.2.13.4	<i>Eficiencia indirecta</i>	21
2.2.14	<i>Purga de caldera</i>	21
2.2.15	<i>Ciclos de concentración</i>	22
2.2.16	<i>pH</i>	23
2.2.17	<i>Conductividad</i>	23
2.2.18	<i>Alcalinidad</i>	23
2.2.19	<i>Dureza total</i>	24
2.2.20	<i>Oxígeno disuelto</i>	24
2.2.21	<i>Oxigenometro</i>	24
2.2.22	<i>pH-metro</i>	24
2.2.23	<i>PLC</i>	25

2.2.24	<i>Sistema de control automático</i>	25
2.2.24.1	<i>Sistema de control de lazo abierto</i>	26
2.2.24.2	<i>Sistema de control de lazo cerrado</i>	26
2.2.24.3	<i>Sistema de control centralizado</i>	26
2.2.24.4	<i>Sistema de control distribuido</i>	27
2.2.25	<i>Ovation</i>	27

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	29
3.1	Tipo de proyecto	29
3.2	Ubicación del proyecto	29
3.3	Métodos y técnicas	30
3.3.1	<i>Métodos</i>	30
3.3.1.1	<i>Método deductivo</i>	30
3.3.1.2	<i>Método inductivo</i>	31
3.3.1.3	<i>Método experimental</i>	31
3.3.2	<i>Técnicas</i>	33
3.3.2.1	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	33
3.3.2.2	<i>Oxígeno disuelto (OD)</i>	33
3.4	Planificación del muestreo	34
3.5	Variables de investigación	36
3.6	Recursos	36
3.6.1	<i>Recursos humanos</i>	36
3.6.2	<i>Recursos materiales</i>	37
3.7	Modelo matemático del sistema	38
3.7.1	<i>Modelado estacionario</i>	38
3.7.1.1	<i>Balance de masa del tanque de morfolina</i>	39
3.7.1.2	<i>Balance de masa del tanque de sulfito de sodio</i>	39
3.7.1.3	<i>Balance de masa del tanque de condensado</i>	39

3.7.1.4	<i>Balance de masa de la morfolina</i>	39
3.7.1.5	<i>Balance de masa del sulfito de sodio</i>	40
3.7.2	Modelado dinámico	40
3.7.2.1	<i>Balance de masa del tanque de morfolina</i>	40
3.7.2.2	<i>Balance de masa del tanque de sulfito de sodio</i>	42
3.7.2.3	<i>Balance de masa del tanque de condensado</i>	43
3.7.2.4	<i>Balance de masa de la morfolina</i>	45
3.7.2.5	<i>Balance de masa del sulfito de sodio</i>	47
3.8	Diseño de la automatización	49
3.8.1	Estudio técnico preliminar	49
3.8.1.1	<i>Caracterización del sistema de calderas de la CTE-II</i>	49
3.8.1.2	<i>Elementos principales</i>	50
3.8.1.3	<i>Especificaciones técnicas</i>	52
3.8.2	Normativa aplicada	53
3.8.3	Proceso de automatización	54
3.8.4	Compatibilidad química de los materiales y fluidos	55
3.8.5	Prototipo del skid de dosificación	57
3.8.6	Simulación del sistema de dosificación de químicos	58
3.8.7	Materiales y herramientas involucrados en el diseño final	62

CAPÍTULO IV

4	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADO	65
4.1	Diseño propuesto	65
4.2	Características y dimensionamiento de los subsistemas	65
4.2.1	<i>Subsistema de dosificación de morfolina</i>	65
4.2.2	<i>Subsistema de dosificación de sulfito de sodio</i>	66
4.3	Instrumentación implementada en el diseño de automatización	67
4.3.1	<i>Sonda de pH y transmisor</i>	67
4.3.2	<i>Medidor de oxígeno disuelto en línea</i>	71

4.3.3	<i>Bomba para dosificar químicos</i>	73
4.3.4	<i>Bomba de llenado</i>	78
4.3.5	<i>Sensor de ausencia de flujo</i>	79
4.3.6	<i>Válvula de control</i>	81
4.3.7	<i>Transmisor de nivel</i>	86
4.4	Control automático del sistema	88
4.5	Costos de implementación	89
4.6	Diagramas P&ID del sistema automático de dosificación	91
4.7	Análisis de resultados	102
4.7.1	<i>Resultados de laboratorio</i>	103
4.7.1.1	<i>Resultados de pH del agua de alimentación</i>	103
4.7.1.2	<i>Resultados de pH del agua de la caldera</i>	108
4.7.1.3	<i>Resultados de pH del vapor sobrecalentado</i>	113
4.7.1.4	<i>Resultados de oxígeno disuelto del agua de alimentación</i>	118
4.7.1.5	<i>Resumen de los resultados de laboratorio</i>	123
4.7.2	<i>Resultados de la simulación</i>	124
4.7.2.1	<i>Caldera 1</i>	124
4.7.2.2	<i>Caldera 2</i>	124
4.7.2.3	<i>Caldera 3</i>	125
4.7.2.4	<i>Caldera 7</i>	125
4.7.2.1	<i>Caldera 11</i>	125
4.8	Validación de la simulación	125

CAPÍTULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
5.1	Conclusiones	128
5.2	Recomendaciones	129

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación de las calderas	7
Tabla 2-2: Calderas aplicadas en el ámbito industrial	8
Tabla 2-3: Calderas basadas en su forma de calefacción	10
Tabla 2-4: Directrices para la calidad del agua en calderas acuotubulares industriales	11
Tabla 2-5: Impurezas comunes del agua	12
Tabla 2-6: Tipos de tratamiento físico.....	16
Tabla 2-7: Tipos de tratamiento químico	17
Tabla 2-8: Tipos de purga de caldera	22
Tabla 3-1: Técnica para determinar el potencial de hidrógeno.....	33
Tabla 3-2: Técnica para medir oxígeno disuelto	33
Tabla 3-3: Situaciones de muestreo en la industria	34
Tabla 3-4: Plan de muestreo.....	36
Tabla 3-5: Recursos humanos	37
Tabla 3-6: Hardware utilizado en la investigación	37
Tabla 3-7: Software utilizados en la investigación	37
Tabla 3-8: Datos técnicos de las calderas de la CTE-II	53
Tabla 3-9: Compatibilidad de materiales con la morfolina.....	56
Tabla 3-10: Compatibilidad de materiales con el sulfito de sodio.....	56
Tabla 3-11: Materiales y herramientas para el diseño del sistema.....	63
Tabla 4-1: Especificaciones Transmisor M800 Water 2-CH.....	68
Tabla 4-2: Especificaciones Electrodo pH Pure Water pHure LE.....	69
Tabla 4-3: Especificaciones Orbisphere K1100	71
Tabla 4-4: Caudales de diseño para las bombas dosificadoras de químico.....	74
Tabla 4-5: Especificaciones Grundfos Dosing Pump DDI 222 150-4	74
Tabla 4-6: Especificaciones Grundfos Dosing Pump DDA 7.5- 16 FC.....	76
Tabla 4-7: Especificaciones Bomba Serie DB11.....	78
Tabla 4-8: Constantes de referencia de la bomba de llenado.....	79
Tabla 4-9: Especificaciones FLOWX3 F3.05 Paddlewheel Flow Switch	80
Tabla 4-10: Especificaciones Válvula solenoide ASCO 8210G129	81
Tabla 4-11: Constantes de referencia de la válvula solenoide del agua de alimentación	82
Tabla 4-12: Especificaciones Válvula solenoide ASCO 8210G087	83
Tabla 4-13: Constantes de referencia de la válvula solenoide del agua tratada	84
Tabla 4-14: Especificaciones Válvula solenoide SHAKO PE220H-04.....	84

Tabla 4-15: Especificaciones Honeywell STG800 SMARTLINE	86
Tabla 4-16: Alarmas para el nivel del depósito de la amina neutralizante.....	88
Tabla 4-17: Alarmas para el nivel del depósito del sulfito de sodio	88
Tabla 4-18: Costos de materiales y equipos para la implementación	89
Tabla 4-19: Costos de inversión en recursos	91
Tabla 4-20: Descripción del diagrama P&ID	91
Tabla 4-21: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 1	123
Tabla 4-22: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 2	123
Tabla 4-23: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 3	123
Tabla 4-24: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 7	123
Tabla 4-25: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 11	124
Tabla 4-26: Resultados de la simulación de la caldera 1	124
Tabla 4-27: Resultados de la simulación de la caldera 2	124
Tabla 4-28: Resultados de la simulación de la caldera 3	125
Tabla 4-29: Resultados de la simulación de la caldera 7	125
Tabla 4-30: Resultados de la simulación de la caldera 11	125
Tabla 4-31: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 1	126
Tabla 4-32: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 2	126
Tabla 4-33: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 3	126
Tabla 4-34: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 7	127
Tabla 4-35: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 11	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Caldera de recuperación de calor.....	10
Ilustración 2-2: Corrosión de la tubería de una caldera.....	13
Ilustración 2-3: Incrustación de la tubería de una caldera.....	14
Ilustración 2-4: Formación de espuma.....	15
Ilustración 2-5: Formación de embancamiento.....	15
Ilustración 2-6: Fragilización cáustica.....	16
Ilustración 2-7: PLC.....	25
Ilustración 2-8: Esquema de un sistema de control automático.....	25
Ilustración 2-9: Ejemplo de un sistema de control de lazo abierto.....	26
Ilustración 2-10: Ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado.....	26
Ilustración 2-11: Ejemplo de un sistema de control centralizado.....	27
Ilustración 2-12: Ejemplo de un sistema de control distribuido.....	27
Ilustración 2-13: Interfaz de Ovation.....	28
Ilustración 3-1: Central Térmica Esmeraldas.....	30
Ilustración 3-2: Esquema del sistema de automático de dosificación de químicos.....	38
Ilustración 3-3: Área de calderos y chimeneas.....	49
Ilustración 3-4: Diagrama P&ID de una caldera.....	50
Ilustración 3-5: Desaireador.....	50
Ilustración 3-6: Domo de baja presión.....	51
Ilustración 3-7: Diagrama de flujo del proceso de automatización.....	55
Ilustración 3-8: Esquema básico de un skid de dosificación de químicos.....	57
Ilustración 3-9: Línea de dosificación a la caldera y lazo de control.....	58
Ilustración 3-10: Ovation Control Builder.....	58
Ilustración 3-11: Lógica de control de la bomba de dosificación.....	59
Ilustración 3-12: Algoritmo Keyboard.....	59
Ilustración 3-13: Entradas y salidas del sistema Ovation.....	60
Ilustración 3-14: PID.....	60
Ilustración 3-15: Algoritmo 2XSEL.....	60
Ilustración 3-16: Lógica de control de nivel del reservorio.....	61
Ilustración 3-17: Lógica para la simulación del proceso de operación de los indicadores de pH y O ₂	62
Ilustración 3-18: Interfaz gráfica del sistema de dosificación de químicos.....	62
Ilustración 4-1: pHmetro online.....	67

Ilustración 4-2: Electrodo de pH.....	68
Ilustración 4-3: Dimensiones del transmisor de pH.....	70
Ilustración 4-4: Dimensiones del sensor de pH.....	70
Ilustración 4-5: Medidor de oxígeno online.....	71
Ilustración 4-6: Dimensiones del transmisor de O ₂	73
Ilustración 4-7: Dimensiones del sensor de O ₂	73
Ilustración 4-8: Bomba dosificadora de morfolina	74
Ilustración 4-9: Dimensiones de bomba dosificadora de morfolina.....	76
Ilustración 4-10: Bomba dosificadora de sulfito de sodio.....	76
Ilustración 4-11: Dimensiones de bomba dosificadora de sulfito de sodio	77
Ilustración 4-12: Bomba de llenado.....	78
Ilustración 4-13: Dimensiones de la bomba de llenado	79
Ilustración 4-14: Sensor de ausencia de flujo	80
Ilustración 4-15: Dimensiones del sensor de ausencia de flujo.....	80
Ilustración 4-16: Válvula solenoide del agua de alimentación.....	81
Ilustración 4-17: Dimensiones de la válvula solenoide del agua de alimentación.....	82
Ilustración 4-18: Válvula solenoide del agua tratada	83
Ilustración 4-19: Dimensiones de la válvula solenoide del agua tratada	84
Ilustración 4-20: Válvula solenoide para los químicos	84
Ilustración 4-21: Dimensiones de la válvula solenoide para los químicos	85
Ilustración 4-22: Transmisor de nivel.....	86
Ilustración 4-23: Dimensiones del transmisor de nivel.....	87
Ilustración 4-24: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de morfolina para el tanque de condensado N°1	96
Ilustración 4-25: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de morfolina para el tanque de condensado N°2	97
Ilustración 4-26: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de sulfito de sodio para el tanque de condensado N°1	98
Ilustración 4-27: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de sulfito de sodio para el tanque de condensado N°2.....	99
Ilustración 4-28: Diagrama P&ID del tanque de condensado N°1	100
Ilustración 4-29: Diagrama P&ID del tanque de condensado N°2.....	101
Ilustración 4-30: pH del agua de alimentación de la caldera 1 antes del tratamiento	103
Ilustración 4-31: pH del agua de alimentación de la caldera 1 después del tratamiento.....	103
Ilustración 4-32: pH del agua de alimentación de la caldera 1 antes del tratamiento	104
Ilustración 4-33: pH del agua de alimentación de la caldera 2 después del tratamiento.....	104

Ilustración 4-34: pH del agua de alimentación de la caldera 3 antes del tratamiento	105
Ilustración 4-35: pH del agua de alimentación de la caldera 3 después del tratamiento.....	105
Ilustración 4-36: pH del agua de alimentación de la caldera 7 antes del tratamiento	106
Ilustración 4-37: pH del agua de alimentación de la caldera 7 después del tratamiento.....	106
Ilustración 4-38: pH del agua de alimentación de la caldera 11 antes del tratamiento	107
Ilustración 4-39: pH del agua de alimentación de la caldera 11 después del tratamiento.....	107
Ilustración 4-40: pH del agua de la caldera 1 antes del tratamiento	108
Ilustración 4-41: pH del agua de la caldera 1 después del tratamiento	108
Ilustración 4-42: pH del agua de la caldera 2 antes del tratamiento	109
Ilustración 4-43: pH del agua de la caldera 2 después del tratamiento	109
Ilustración 4-44: pH del agua de la caldera 3 antes del tratamiento	110
Ilustración 4-45: pH del agua de la caldera 3 después del tratamiento	110
Ilustración 4-46: pH del agua de la caldera 7 antes del tratamiento	111
Ilustración 4-47: pH del agua de la caldera 7 después del tratamiento	111
Ilustración 4-48: pH del agua de la caldera 11 antes del tratamiento	112
Ilustración 4-49: pH del agua de la caldera 11 después del tratamiento	112
Ilustración 4-50: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 1 antes del tratamiento	113
Ilustración 4-51: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 1 después del tratamiento	113
Ilustración 4-52: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 2 antes del tratamiento.....	114
Ilustración 4-53: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 2 después del tratamiento	114
Ilustración 4-54: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 3 antes del tratamiento	115
Ilustración 4-55: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 3 después del tratamiento	115
Ilustración 4-56: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 7 antes del tratamiento	116
Ilustración 4-57: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 7 después del tratamiento	116
Ilustración 4-58: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 11 antes del tratamiento.....	117
Ilustración 4-59: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 11 después del tratamiento	117
Ilustración 4-60: OD del agua de alimentación de la caldera 1 antes del tratamiento	118
Ilustración 4-61: OD del agua de alimentación de la caldera 1 después del tratamiento.....	118
Ilustración 4-62: OD del agua de alimentación de la caldera 2 antes del tratamiento	119
Ilustración 4-63: OD del agua de alimentación de la caldera 2 después del tratamiento.....	119
Ilustración 4-64: OD del agua de alimentación de la caldera 3 antes del tratamiento	120
Ilustración 4-65: OD del agua de alimentación de la caldera 3 después del tratamiento.....	120
Ilustración 4-66: OD del agua de alimentación de la caldera 7 antes del tratamiento	121
Ilustración 4-67: OD del agua de alimentación de la caldera 7 después del tratamiento.....	121
Ilustración 4-68: OD del agua de alimentación de la caldera 11 antes del tratamiento	122
Ilustración 4-69: OD del agua de alimentación de la caldera 11 después del tratamiento.....	122

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MSDS DE LA MORFOLINA

ANEXO B: MSDS DEL SULFITO DE SODIO

ANEXO C: FACTORES DE RIESGO DE SEGURIDAD ASOCIADOS A LAS CALDERAS

ANEXO D: QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS

ANEXO E: LÍNEAS DE MONITORIZACIÓN DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

ANEXO F: MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE IMPUREZAS DE LAS CALDERAS

ANEXO G: VISITA TÉCNICA A LA CENTRAL TÉRMICA ESMERALDAS II

ANEXO H: NORMATIVA ASME PARA EL CONTROL QUÍMICO DEL AGUA

RESUMEN

La corrosión y la acumulación de incrustaciones son los principales problemas causados por la disminución de la calidad química del agua de alimentación en las calderas de las centrales térmicas debido a que afectan la producción de vapor y los equipos de la central, reduciendo así su rendimiento y eficiencia, incluso pudiendo llegar a dejarlos fuera de funcionamiento; por lo tanto el objetivo de la presente investigación fue diseñar un sistema automático de dosificación de químicos para calderas de baja presión en la Central Térmica Esmeraldas II. Para el desarrollo del diseño del sistema se empleó la observación directa, entrevistas al personal de la central térmica y el análisis de laboratorio para determinar la cantidad de dosificación del secuestrante de oxígeno disuelto y del regulador de pH que permita que los parámetros de pH y oxígeno disuelto del agua de alimentación, de caldera y vapor cumplan con los criterios de calidad establecidos por la normativa local e internacional (ASME, ABMA 402, etc); y partir de esto determinar la dosificación, dimensionamiento y distribución de equipos. Con base a los datos obtenidos, se determinó que el sistema constará de 2 depósitos de morfolina y 2 depósitos de sulfito de sodio que dosificarán los químicos a los tanques de alimentación con caudales de 53,8 l/h y 26,7 l/h para la amina; y 2,05 l/h y 1,7 l/h para el sulfito de sodio en conjunto con la instrumentación requerida (transmisores de nivel, bombas dosificadoras, válvulas solenoides, pHmetro online, etc.) controlados por un sistema de control distribuido (Ovation 3.7). Se concluyó que la automatización del proceso de dosificación química permite un mayor rendimiento de la central y equipos auxiliares y se recomendó que la CELEC-EP evalúe la implementación del proceso automatización para garantizar una mayor eficiencia y eficacia en el tratamiento químico del agua.

Palabras clave: <DOSIFICACIÓN QUÍMICA>, <AUTOMATIZACIÓN>, <CALDERA>, <CORROSIÓN>, <INCRUSTACIÓN>, <PH>, <OXÍGENO DISUELTO>.

0417-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

Corrosion and scale accumulation are the main problems caused by the decrease in the chemical quality of the feedwater in the boilers of thermal power plants because they affect steam production and the plant's equipment, thus reducing its performance and efficiency and even putting them out of operation; therefore, the objective of this research was to design an automatic chemical dosing system for low-pressure boilers at the Esmeraldas II Thermal Power Plant. For the development of the system design, direct observation, interviews with the thermal power plant personnel and laboratory analysis were used to determine the dosage amount of the dissolved oxygen scavenger and the pH regulator to ensure that the pH and dissolved oxygen parameters of the feed water, boiler water and steam meet the quality criteria established by local and international standards (ASME, ABMA 402, etc.); and based on this, the dosage, sizing and distribution of equipment were determined. Based on the data obtained, it was determined that the system will consist of 2 morpholine tanks and 2 sodium sulfite tanks that will dose the chemicals to the feed tanks with flow rates of 53,8 l/h and 26,7 l/h for the amine; and 2,05 l/h and 1,7 l/h for the sodium sulfite together with the required instrumentation (level transmitters, dosing pumps, solenoid valves, online pH meter, etc.) controlled by a distributed control system (Ovation 3.7). It was concluded that the automation of the chemical dosing process allows greater performance of the plant and auxiliary equipment and it was recommended that CELEC-EP evaluate the implementation of the automation process to ensure greater efficiency and effectiveness in the chemical treatment of water.

Keywords: <CHEMICAL DOSING>, <AUTOMATION>, <BOILER>, <CORROSION>, <INCRUSTATION>, <PH>, <DISSOLUTE OXYGEN>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

C.I. 1103696132

INTRODUCCIÓN

En las primeras etapas del desarrollo de las calderas, las temperaturas y presiones eran tan bajas que el tratamiento del agua no era un problema debido a que no se formaban grandes cantidades significativas de incrustaciones y óxidos, en especial si la caldera se “purga”. La instalación de placas de zinc y/o productos químicos alcalinos era una práctica común para reducir la corrosión dentro de las calderas y a lo largo de los años, se han realizado pruebas exhaustivas para determinar la causa de la corrosión y los posibles métodos de protección para las calderas.

La utilización de nitrato de plata para la determinación de la contaminación por agua de mar y cal para el control de la alcalinidad en el agua de alimentación de calderas se mencionó por primera vez en 1900, y fue empleado por la armada británica y francesa hasta alrededor de 1935. En las calderas modernas, el tratamiento del agua de alimentación es esencial ya que el uso de agua cruda en condiciones extremas de temperatura y presión da paso al surgimiento de problemas como la disminución de la eficiencia de la transferencia de calor, los daños al equipo, el sobrecalentamiento y las limpiezas costosas.

En una central térmica con motores de combustión interna, el agua de alimentación a las calderas para la generación de vapor, así como la de los circuitos de refrigeración, tienen un conjunto de parámetros químicos que varían conforme al uso que se le dé a la misma agua. Esta propiedad de manera amplia está definida en los sistemas de generación de vapor (calderas) como ciclos de concentración. La calidad del agua de alimento a las calderas debe ser controlada para poder asegurar la vida útil de todos los componentes del sistema de generación de vapor y por ende de la central térmica.

Los principales problemas que ocurren debido al deterioro de la calidad química del agua en calderas industriales son la corrosión y la acumulación de incrustaciones. Éstos afectan en gran medida a la producción de vapor y el rendimiento y eficiencia de la central térmica y sus equipos, incluso pudiendo llegar a dejarlos fuera de funcionamiento. Por tanto, la implementación de programas de control químico del agua de alimentación de las calderas de la Central Térmica Esmeraldas II toma importancia debido a que los equipos del sistema de generación de vapor tienen un alto costo y la paralización de la central térmica genera altas pérdidas.

El propósito del sistema automático de dosificación es realizar la inyección de diversos químicos para controlar los parámetros fuera del límite permisible del agua de alimentación. Para el diseño del sistema automático de dosificación, se debe tener en consideración diversos factores y entre

los más importantes a considerar tenemos a los materiales y equipos que conforman el sistema, los químicos a dosificar y los parámetros a controlar. En el presente trabajo se diseñará un sistema automático de dosificación química para monitorear dos parámetros diferentes del agua, pero que se relacionan entre sí; las variables que se pretende controlar son el oxígeno disuelto en el agua (control de corrosión) y el pH (control de incrustación y corrosión).

El tratamiento más común y efectivo para reducir la corrosión en los sistemas de distribución de agua es el control de pH, el cual está relacionado de manera intrínseca a la corrosión debido a que un incremento en el pH hasta cierto nivel reduce la probabilidad de corrosión y viceversa. Por otro lado, en las aguas ácidas existe una alta concentración de iones hidronio por lo que en general son consideradas como corrosivas no obstante es perjudicial también tener un pH muy básico ya que aumenta el potencial de incrustaciones. Mediante la adición de amina neutralizante se busca contrarrestar la subida o bajada brusca en el valor de pH y mantenerlo en un nivel aceptable, que en general es de 8,6 - 9.

Asimismo, el control del oxígeno disuelto en el agua se emplea para evitar la corrosión por picaduras, en la cual ocurre una reacción entre un metal y el medio, que genera la degradación y pérdida de sus propiedades. Esta degradación inicia en la superficie hasta propagarse al interior, provocando que el material pierda espesor y se desprendan partes del mismo que en general se pueden acumular en otros puntos de la instalación. La corrosión puede tener varios orígenes, pero una de los más importante en la industria de generación de vapor es el oxígeno disuelto en el agua de alimento; sin embargo, este puede ser controlado añadiéndole químicos al agua para que lo encapsulen y también ayuden a la formación de una capa protectora sobre la superficie del material con el fin de producir una barrera entre el material y el agua. Los químicos conocidos como secuestrantes de oxígeno ayudan en la reducción de corrosión en las calderas.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La generación de vapor como medio de calentamiento indirecto significa producir dicho vapor a partir de agua líquida, transportarlo hasta el lugar de consumo e intercambiar su energía potencial para transformarse en otras formas de energía; es decir, en energía cinética, para su luego transformarse en energía mecánica y/o eléctrica, y por último en energía térmica, para emplear el calor generado en un proceso. Las tres etapas (producción, transporte y utilización) pueden ejecutarse con mayor o menor eficiencia, por lo cual para optimizar la generación de energía mediante el empleo del vapor se requiere conocer los aspectos básicos que inciden en el mayor o menor rendimiento de la energía contenida en el suministro primario (a partir de la cual se produce el vapor) o en el propio vapor.

En la Central Térmica Esmeraldas el vapor se produce en calderas de baja presión por recuperación de calor de los gases de combustión de los motores de combustión interna. A través de este proceso se aprovecha el calor latente del flujo de los gases de combustión.

Termoesmeraldas es una central térmica de generación eléctrica a partir de motores de combustión interna, construida en el 2013 con una potencia instalada de 96 MWH, cuenta con 12 grupos electrógenos y 12 calderas de baja presión. Esta central produce vapor de baja presión para elevar la temperatura del combustible HFO N°6, para la generación de vapor se utiliza calderas de recuperación de calor engranadas a los ductos de los gases de combustión de cada motor.

Termoesmeraldas genera unas 172,04 toneladas de vapor por día, (CELEC EP, 2020, párr. 5) para transferir ese calor al combustible HFO N°6 y servicios complementarios.

1.2 Planteamiento del problema

Los elementos de los sistemas de caldera y los mecanismos por los que se producen la formación de depósitos y la corrosión son diversos y complejos, por lo cual dichos sistemas requieren un tratamiento químico efectivo y monitoreo y control precisos.

Los tratamientos químicos del agua de calderas están dirigidos a la protección interna de los tubos que están en contacto con el agua, además las calderas pueden sufrir ataques químicos tales como la corrosión e incrustación debido a su naturaleza operativa, es decir; la evaporación y saturación continua.

Para la generación de vapor es necesario alimentar agua tratada mediante químicos a las calderas para evitar posibles problemas como la corrosión o incrustación, en Termoesmeraldas este tratamiento químico se lo realiza de manera manual, lo que genera un gran riesgo para el personal encargado, la confiabilidad del proceso y costos operativos.

El objetivo principal de un programa de tratamiento de agua para calderas de baja presión es proteger las superficies de transferencia de calor (calderas, sistemas de condensado, agua de alimentación y, cuando se requiera; turbinas de vapor) libres de depósitos y corrosión. Los depósitos en las calderas por lo general contienen niveles indeseables de óxidos metálicos, incrustación mineral o lodo que pueden afectar la circulación y la transferencia de calor, e iniciar corrosión debajo de los depósitos (Gubitosi y Tzovanis, 2011, pp. 10-15). La corrosión en las calderas de baja presión a menudo es el resultado de la entrada de aire y de la concentración de oxígeno disuelto durante los períodos de inactividad de la unidad, lo cual con frecuencia provoca fallas y paros no programados.

1.3 Justificación

Los principales problemas que se presenta en una caldera de baja presión, suelen ser la corrosión por presencia de oxígeno disuelto o un control inadecuado del pH, mientras que las incrustaciones se presentan debido a la saturación del agua alimentada frente a la evaporada. Termoesmeraldas a través de su proceso operativo dosifica una amina neutralizante para la regulación de pH y sulfito de sodio para secuestrar el oxígeno disuelto en el agua, esta dosificación se realiza de manera directa en el tanque de condensado de manera manual por los operarios de turno. La temperatura promedio del tanque de condensado es de 75°C, mientras que la amina se gasifica debajo de los 60°C. Esto podría generar exposición a gases y altos consumos de químicos por pérdida durante la aplicación. En diciembre del 2020, la empresa reportó un accidente de trabajo por faringitis crónica en uno de los operarios (Termoesmeraldas, 2020, párr. 12).

Según se desprende del reporte este se debió a la exposición prolongada a gases contaminantes amoniacales, generados por la rápida evaporación de la amina. De aquí la importancia de contar con un proceso automatizado de dosificación de químicos, que permita medir las variables de

control y tomar acción en línea, reduciría de manera drástica la exposición del operario, aumentaría la disponibilidad del sistema de generación de vapor y reduciría el error humano al momento de aplicar el producto. Esto se podría traducir en un beneficio directo para los operarios encargados de la dosificación manual y también para la organización al reducir los tiempos de monitoreo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema automático de dosificación de químicos para calderas de baja presión en la empresa Termoesmeraldas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Levantar información sobre las variables y puntos de control a automatizar.
- Simular el control automático del sistema de dosificación de químicos.
- Validar teóricamente cada una de las etapas del proceso.
- Identificar y dimensionar cada uno de los equipos a utilizar en el sistema automatizado para las calderas.
- Elaborar un diagrama P&ID del proceso automático de dosificación de químicos.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

Si bien es cierto que la Central Térmica Esmeraldas lleva más de siete años de normal funcionamiento, en generación eléctrica y generación de vapor en conjunto con el sistema de preparación, dosificación y control químico del agua, está sujeto a la frecuencia de las rutinas de muestreo y control.

En el 2009 se realizó un diseño un sistema de control para automatizar las bombas de dosificación química para calderas Powermaster, por presentar deficiencias y limitaciones en el proceso de la generación de vapor, en específico se desarrolló un programa alternativo para controlar las bombas usando un PLC (Diestra Sánchez, 2009, p. 1).

En la industria moderna, esto toma relevancia debido a que el sistema automatizado ofrece alta fidelidad y confiabilidad a los requerimientos del usuario propio de una planta industrial y en lo referente al comando secuencial de la caldera se tiene como alternativa un sistema básico a base de PLC que reemplaza al control secuencial de la caldera (Diestra Sánchez, 2009, p. 2).

2.2 Referencias Teóricas

2.2.1 *Caldera*

En términos industriales, la caldera es una máquina que se utiliza para producir vapor o calentar agua para la calefacción de espacios y procesos, además sirve para la generación de energía mecánica y electricidad (Worrell, 2004, pp. 395-406). A menudo, las calderas industriales se utilizan para industrias como: alimentación y bebidas, papel, química, textil, alimentación animal, generación eléctrica, entre otros.

Además, las calderas industriales emplean una fuente de combustible o electricidad para calentar agua o generar vapor para sus aplicaciones. El concepto básico de una caldera implica una fuente de calor (horno) y un intercambiador de calor (tuberías o tubos) o medio de transferencia de calor que permite calentar el agua por encima de su punto de ebullición. El tipo de fuente de calor y el método de intercambio de calor son los que en concreto definen los diferentes tipos de calderas.

2.2.2 Tipos de calderas

Todas las calderas pueden clasificarse según diversas características (presión de trabajo, tipo de combustible, circulación del agua dentro de la caldera, su posición, su instalación, etc.), sin embargo, cada fabricante ha seleccionado algunos de los aspectos antes mencionados construyendo así algunos tipos de calderas que se han llegado a utilizar con frecuencia en el ambiente industrial como: calderas pirotubulares, calderas acuotubulares, calderas continuas, calderas residenciales, etc (Bahamondes, 2006, pp. 5-12).

Una clasificación general de los tipos de calderas que podemos encontrar en el mercado sería la siguiente:

Tabla 2-1: Clasificación de las calderas

Clasificación	Tipo de caldera
Atendiendo a su posición	a) Horizontales
	b) Verticales
Atendiendo a su instalación	a) Fija o estacionaria
	b) Móviles o portátiles
Atendiendo a la ubicación del hogar	a) De hogar interior
	b) De hogar exterior
Atendiendo a la circulación de los gases	a) Recorrido en un sentido (de un paso)
	b) Con retorno simple (de dos pasos)
	c) Con retorno doble (de tres pasos)
Con respecto a su forma de calefacción	a) Cilíndrica sencilla de hogar exterior
	b) Con un tubo hogar (liso o corrugado)
	c) Con dos tubos hogares (liso o corrugado)
	d) Con tubo Galloway (calderas horizontales o verticales)
	e) Con tubos múltiples de humo (igneotubulares o pirotubulares)
	f) Con tubos múltiples de agua (hidrotubulares o acuotubulares)
	g) Con tubos múltiples de agua y tubos múltiples de humo (acuoprotubular o mixtas)
	a) De baja presión (hasta 2,0 kg/cm ²)

De acuerdo a la presión del vapor que producen	b) De mediana presión (sobre 2,0 kg/cm ² hasta 10 kg/cm ²)
	c) De alta presión (sobre 10 kg/cm ² hasta 225 kg/cm ²)
	d) Supercríticas (sobre 225 kg/cm ²)
Con respecto al volumen de agua que contienen en relación con su superficie de calefacción^a	a) De gran volumen de agua (más de 150 L x m ² de SC)
	b) De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 L x m ² de SC)
	c) De pequeño volumen de agua (menos de 70 L x m ² de SC)
Según su utilización	a) De vapor
	b) De agua caliente
Según la circulación del agua dentro de la caldera	a) Circulación natural: El agua circula por efecto térmico
	b) Circulación forzada: El agua se hace circular mediante bombas
Según el tipo de combustible^b	a) De combustible sólido
	b) De combustible líquido
	c) De combustible gaseoso

^a Se entiende por superficie de calefacción (SC) a la superficie total de planchas y tubos de la caldera que por un lado están en contacto con los gases y por el otro con el agua que se desea calentar. La superficie de calefacción se mide por el lado de los gases.

^b Además existen calderas que obtienen el calor necesario de otras fuentes de calor, tales como gases calientes de desperdicios de otras reacciones químicas, de la aplicación de la energía eléctrica o del empleo de la energía nuclear.

Fuente: Bahamondes P., 2006, pp. 5-6.

Por otro lado, existen algunas calderas que son de uso común en el ámbito industrial que se describen a continuación:

Tabla 2-2: Calderas aplicadas en el ámbito industrial

Tipo de caldera	Descripción
Calderas del tipo paquete	Es una unidad autocontenida, que se instala con rapidez, ya que va montada sobre una armazón de acero, estructura lista para su colocación sobre una base sencilla de concreto.

Calderas escocesas	Es probablemente la más popular y la que más se fabrica como unidad generadora de fuerza. Algunas de sus características son: del tipo horizontal, con tubos múltiples de humo, de hogar interior, de uno o más pasos y que puede quemar combustible sólido, líquido o gaseoso. Son, además, económicas, ocupan un mínimo material refractario y su instalación es sencilla.
Calderas marinas	Son calderas para la propulsión de barcos de guerra. Algunas de sus características son: a) Gran eficiencia y mínimo tamaño y peso. b) Diseño y formas especiales. c) Gran seguridad del servicio. d) Manejo sencillo. e) Máxima accesibilidad. f) Gran flexibilidad a las demandas de vapor.
Calderas residenciales	Se presentan en gran variedad de formas y diseños, de los cuales la mayoría son para proporcionar agua caliente. Pueden ser verticales u horizontales, tienen un volumen de agua reducido y un calentamiento rápido.
Calderas continuas	En estas calderas el agua de alimentación es forzada a través de los tubos, en cuyo trayecto cambia de estado convirtiéndose en vapor. Normalmente no necesitan colector de vapor. No requieren otra clase de bombeo que el de las bombas de alimentación de agua.
Calderas tipo express	Son unidades capaces de levantar vapor rápidamente y a gran presión. El nombre “express” proviene de estas características.

Fuente: Bahamondes P., 2006, pp. 7-8.

No obstante, la clasificación basada en la circulación de los gases y del agua caliente en la zona de tubos de las calderas es la más aceptada y se divide en dos tipos generales de calderas:

Tabla 2-3: Calderas basadas en su forma de calefacción

Tipo de caldera	Descripción
Pirotubulares o de tubos de humos	En estas calderas, los humos pasan dentro de los tubos, cediendo su calor al agua que los rodea.
Acuotubulares o de tubos de agua	El agua circula por dentro de los tubos, captando calor de los gases calientes que pasan por el exterior.

Fuente: Bahamondes P., 2006, p. 8.

2.2.3 Ciclo del agua

El ciclo del agua, también conocido como el ciclo hidrológico, es el movimiento continuo del agua en la Tierra (entre la hidrosfera, la atmósfera y la litosfera) de forma cíclica, desde el estado de vapor en la atmósfera hasta la precipitación; ya sea en forma de lluvia o nieve sobre la tierra y la superficie del agua, pasando por el suelo o vertida en cuerpos de agua y al final regresando a la atmósfera en estado gaseoso. Estos pasos ocurren a través de un sistema complejo de diferentes procesos y cambios de fase del agua (Dey y Lewis, 2021, pp. 117-193).

2.2.4 HRSG

La caldera de recuperación de calor, también denominada HRSG (Heat Recovery Steam Generator), dentro de un ciclo combinado es el equipo encargado de emplear la energía de los gases de escape de la turbina de gas transformándola en vapor, para luego transformarlo en electricidad o utilizarlo en los procesos industriales y en los sistemas de calefacción (RENOVETEC, 2012, párr. 1).

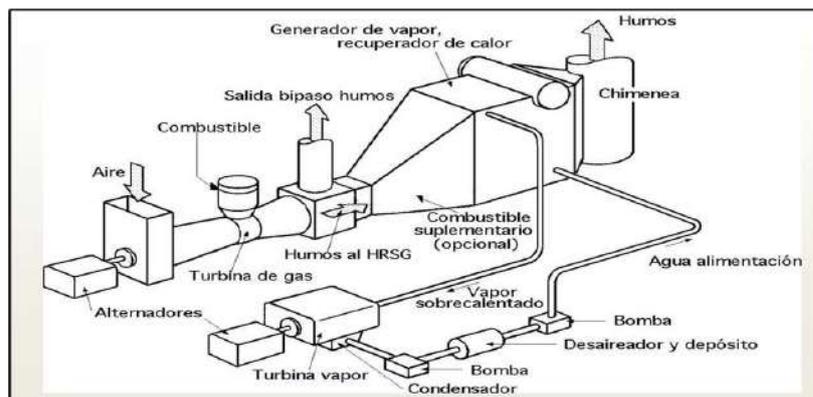


Ilustración 2-1: Caldera de recuperación de calor

Fuente: Quillos S., 1995, p. 10.

2.2.5 Calidad del agua

Es una medida de las condiciones del agua para un uso particular (consumo humano, proceso industrial, etc.) en función de características físicas, químicas y biológicas seleccionadas.

La Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) ha establecido algunas directrices para la calidad del agua empleada en las calderas industriales modernas. Estas pautas se definieron para garantizar un funcionamiento seguro y confiable de las calderas.

Tabla 2-4: Directrices para la calidad del agua en calderas acuatubulares industriales

Presión del tambor (psi)	Agua para alimentación de la caldera			Agua de Caldera		
	Hierro (ppm Fe)	Cobre (ppm Cu)	Dureza total (ppm CaCO ₃)	Sílice (ppm SiO ₂)	Alcalinidad total ^b (ppm CaCO ₃)	Conductancia específica (microohmios/cm) (sin neutralizar)
0-300	0,100	0,050	0,300	150	700 ^a	7000
301-450	0,050	0,025	0,300	90	600 ^a	6000
451-600	0,030	0,020	0,200	40	500 ^a	5000
601-750	0,025	0,020	0,200	30	400 ^a	4000
751-900	0,020	0,015	0,100	20	300 ^a	3000
901-1000	0,020	0,015	0,050	8	200 ^a	2000
1001-1500	0,010	0,010	ND ^d	2	NS ^c	150
1501-2000	0,010	0,010	ND ^d	1	NS ^c	100

^a El nivel mínimo de alcalinidad del hidróxido en calderas por debajo de 1000 psi debe especificarse individualmente con respecto a la solubilidad del sílice y otros componentes del tratamiento interno.

^b Alcalinidad total máxima consistente con una pureza de vapor aceptable. Si es necesario, la limitación de la alcalinidad total debe anular la conductividad como parámetro de control. Si el agua de reposición es agua desmineralizada a 600-1000 psi, la alcalinidad y la conductividad del agua de la caldera deben ser las que se muestran en la tabla para el rango de 1001-1500 psi.

^c NS (No especificado) en estos casos se refiere a la alcalinidad del hidróxido de potasio o sodio libre. Una pequeña cantidad variable de alcalinidad total estará presente y será medible con el supuesto control congruente o tratamiento volátil empleado en estos rangos de alta presión.

^d No detectable

Fuente: ASME, 1998, pp. 22-23.

La calidad del agua de alimentación de la caldera es esencial para evitar daños a los tubos y la carcasa de la caldera, esta puede contener una variedad de impurezas como el oxígeno disuelto que causa de manera directa el impacto de la corrosión.

El propósito del tratamiento del agua de alimentación de la caldera tratada se puede resumir a continuación (Arachchige y Sandupama, 2019, p. 634):

- Preparar el agua de la caldera antes de que vaya a la caldera.

- Maximizar el potencial de condensación.
- Proporcionar protección interna de la caldera.
- Mantener limpias las superficies internas de la caldera.
- Evitar problemas y paradas.
- Prolongar la vida útil del equipo.

2.2.6 Problemas del agua

Según (Arachchige y Sandupama 2019, p. 634) , existen cuatro tipos principales de corrientes de agua en el funcionamiento de la caldera:

- 1) **Agua de reposición:** El agua cruda, el agua ablandada o el agua desmineralizada que se requiere para la generación de vapor.
- 2) **Agua condensada:** Después de que el vapor transfiera su calor al proceso, vuelve a una fase líquida llamada condensado. Agua de condensación muy pura y que no requiere tratamiento adicional para su reutilización.
- 3) **Agua de purga:** El agua drenada a propósito para limitar el nivel de impurezas a un nivel aceptable.
- 4) **Agua de alimentación:** La combinación de retorno de condensado y agua de reposición que se agrega y se alimenta a la caldera para generar un flujo de agua de entrada.

Existe una enorme cantidad de agua utilizada diariamente para el funcionamiento de calderas industriales, la cual contiene una serie de impurezas comunes como son:

Tabla 2-5: Impurezas comunes del agua

Nombre	Descripción
Turbidez	Materia finamente suspendida que no sedimenta.
Color	Generalmente debido a materias orgánicas descompuestas.
Sólidos suspendidos	Existen en el agua como partículas suspendidas. Pueden ser partículas minerales u orgánicas.
Sólidos disueltos	Hay sólidos disueltos en el agua que forman y no forman incrustaciones. Los principales son los carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio que forman incrustaciones cuando se calientan.
Dureza	Sales de Calcio y Magnesio

Compuestos ácidos	Iones de hidrógeno libres que causan la acidez del agua.
Alcalinidad	Bicarbonato y carbonato e iones de hidroxilo que causan la situación alcalina del agua.
Sílice	Normalmente existe en el agua como un anión o como una suspensión coloidal
Gases disueltos	Oxígeno y dióxido de carbono que se disuelven en agua

Fuente: Arachchige U.; & Sandupama S., 2019, p. 635.

2.2.7 Problemas comunes en calderas

Existen diversos problemas que podemos encontrar en las calderas como son la corrosión, las incrustaciones, la formación de espuma, la fragilización cáustica, la oxidación, el arrastre, entre otros (Colcha Cambal, 2013, p. 38-52).

2.2.7.1 Corrosión

Es un fenómeno en el cual el oxígeno atmosférico en el aire o el agua reacciona con el metal para formar óxidos. En calderas industriales, es un fenómeno en el que el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua del interior de la caldera reacciona con el metal de las paredes de la caldera.

También, la corrosión puede ocurrir por una alcalinidad excesiva o un pH excesivo del agua de la caldera afectando no solo a la caldera en cuestión sino también a las secciones ubicadas antes y después de la caldera, que pueden estar construidas de acero al carbono (Moran, 2018, pp. 101-110).

La corrosión en las líneas de vapor, las líneas de condensado ubicadas en la sección posterior a la caldera y en las tuberías de acero al carbono pueden generar fugas en el sistema que conducen a la pérdida de condensado, situación que aumenta la demanda de energía, agua y productos químicos (Moran, 2018, pp. 101-110).



Ilustración 2-2: Corrosión de la tubería de una caldera

Fuente: Potter R., 2019, p. 10.

2.2.7.2 *Incrustación*

Es la formación directa de depósitos sobre las superficies de transferencia de calor de la caldera cuando se exceden los límites de solubilidad de los constituyentes y los compuestos resultantes precipitan sobre las superficies de los tubos. Estos depósitos pueden estar conformados por calcio, magnesio, fosfato, hierro y sílice.

Los depósitos pueden ocurrir por otros mecanismos como el ingreso de productos de corrosión (óxido) a la caldera después de haber sido creados en las secciones posterior o previa a la caldera, los cuales en general producen incrustaciones a base de hierro además el uso de ciertos productos químicos para el tratamiento del agua puede provocar la formación de incrustaciones cuando estos no se aplican de forma correcta (Tyusenkov y Cherepashkin, 2014, pp. 1244–1249).



Ilustración 2-3: Incrustación de la tubería de una caldera

Fuente: Vallejo D., 2011, p. 5.

2.2.7.3 *Arrastre y formación de espuma*

El arrastre de agua de caldera es la contaminación del vapor con sólidos del agua de caldera, que, de hecho, se acumulan en forma de burbujas o espuma en la superficie del agua de la caldera y salen con el vapor (Moran, 2018, pp. 101-110). Este fenómeno se conoce como formación de espuma y es causado por una alta concentración de sólidos en el agua de la caldera, los cuales pueden contribuir a los problemas de incrustación y corrosión.

Sin embargo, en general se cree que sustancias específicas tales como ciertos tipos de materia orgánica, las grasas, los álcalis, los sólidos en suspensión y los aceites son en particular propicios para la formación de espuma (Bahadori y Vuthaluru, 2010, pp. 250-253).



Ilustración 2-4: Formación de espuma

Fuente: YAMATHO, 2019, p. 12.

2.2.7.4 *Embancamiento*

Por medio de algunas sales disueltas, el barro y la sílice producen el fenómeno conocido como embancamiento, es decir, que dichas sustancias se almacenan en el fondo de la caldera impidiendo o dificultando la circulación y salida del agua (Bahamondes, 2018, pp. 8-9).



Ilustración 2-5: Formación de embancamiento

Fuente: Bahamondes, 2018, p. 9.

2.2.7.5 *Fragilidad cáustica*

Es la formación de pequeñas fisuras o agrietamiento en el metal de los tubos y elementos expuestos a esfuerzos mecánicos que se genera cuando el agua tiene una alta concentración de hidróxido de sodio (Bahamondes, 2018, pp. 8-9).



Ilustración 2-6: Fragilización cáustica

Fuente: Bahamondes, 2018, p. 9.

2.2.8 Tratamiento para agua de calderas

El tratamiento y acondicionamiento del agua de una caldera se realiza con el fin de cumplir tres objetivos principales: intercambio de calor continuo, resistencia a la corrosión y producción de vapor de alta calidad.

El tratamiento consta de dos fases: En primer lugar, eliminamos las impurezas del agua hasta conseguir la limpieza deseada. En segundo lugar, agregamos productos químicos al agua de alimentación para ajustar el pH, crear condiciones menos favorables para la deposición y eliminar el oxígeno (Vakkilainen, 2017a, pp. 180-202).

Para el tratamiento de las impurezas presentes en el agua de alimentación de una caldera se pueden utilizar algunos de los siguientes procedimientos:

2.2.8.1 Tratamientos físicos

Tabla 2-6: Tipos de tratamiento físico

TRATAMIENTO	DEFINICIÓN
FILTRACIÓN	Su objeto es extraer partículas grandes en suspensión. Se realiza antes que el agua llegue a la caldera (externo). Los filtros pueden ser de mallas (pequeñas instalaciones) o de grava y arena.
DESAIREACIÓN	También llamada desgasificación. Consiste en extraer los gases disueltos (oxígeno, anhídrido carbónico). Se consigue calentando el agua de alimentación,

	proporcionando una gran área de contacto agua-aire (ducha o agitación).
EXTRACCIONES O PURGAS	Consiste en evacuar cierta cantidad de agua desde el fondo de la caldera o del domo, con objeto de disminuir o mantener la cantidad total de sólidos disueltos y extraer lodos (en el caso de purga de fondo). La extracción puede ser continua o intermitente. La magnitud de la extracción depende de la concentración de sólidos disueltos a mantener en la caldera y la del agua de alimentación.

Fuente: Bahamondes P., 2018, p. 10.

2.2.8.2 Tratamientos químicos

Consiste en proporcionar en el interior de la caldera productos químicos que actúan contra las impurezas del agua, ayudan a la precipitación sólidos insolubles o en suspensión para luego ser eliminados mediante purgas (Bahamondes, 2018, p. 10).

Las sustancias químicas empleadas en el tratamiento se pueden clasificar según el objetivo que persiguen:

Tabla 2-7: Tipos de tratamiento químico

REDUCTORAS DE DUREZA O ABLANDADORAS	
Hidróxido de sodio o soda cáustica (NaOH)	Precipita las sales de magnesio: aumenta la alcalinidad.
Carbonato de sodio o soda comercial (Na₂CO₃)	Precipita las sales de calcio; bajo costo; produce acidez.
Hidróxido de calcio o cal (Ca(OH)₂)	Precipita las sales de calcio y magnesio.
Fosfatos de Sodio (Na₂ HPO₄):	Precipita sales de calcio. Debe mantenerse en exceso.
Intercambio de iones	Se utilizan ablandadores naturales o sintéticos (zeolitas o permutitas).
INHIBIDORES DE CORROSIÓN	
Sulfito de Sodio (NaSO₃)	Reacciona con el oxígeno produciendo sulfatos de sodio. Se utiliza para calderas de presiones menores a 30 Kg/cm ² .

Hidracina (N₂H₄)	Reacciona con el oxígeno produciendo nitrógeno y agua sin producir sólidos disueltos. Apta para calderas de alta presión.
Aminas	Utilizadas para el control de la corrosión en tuberías de retorno de condensado (corrosión por anhídrido carbónico).
INHIBIDORES DE FRAGILIDAD CÁUSTICA	
Nitratos y nitritos de sodio (NaNO₃ - NaNO₂)	Debe usarse donde el agua tiene características de fragilidad.
INHIBIDORES DE ADHERENCIAS POR LODOS	
Agentes orgánicos	Taninos, almidones, derivados de aguas marinas. Evita la formación de lodos adherentes y minimizan el arrastre.

Fuente: Bahamondes P., 2018, pp. 10-11

2.2.8.3 *Tratamientos térmicos*

Consiste en el calentamiento del agua hasta alcanzar la temperatura de ebullición a fin de precipitar todos los bicarbonatos en forma de carbonatos insolubles para luego ser extraído del fondo del economizador, y de esta manera eliminar los gases disueltos y la dureza temporal, ya que el tratamiento no separa la dureza permanente (Bahamondes, 2018, p. 13).

2.2.8.4 *Tratamientos mixtos*

La eliminación de la dureza total, que es la suma de la dureza temporal y permanente, de los sistemas de calderas se realiza mediante los denominados tratamientos mixtos. Estos consisten en la utilización algunos desincrustantes químicos en conjunto al calentamiento de agua (Bahamondes, 2018, p. 13).

2.2.8.5 *Tratamientos eléctricos*

Consiste en la utilización de un sistema basado en la electrólisis del agua, donde los tubos de chapas tienen apernados el zinc en planchas, el cual tiene la función de proteger las planchas de hierro de la reacción a las sales incrustantes (Bahamondes, 2018, p. 13).

2.2.9 Vapor

Es una fase gaseosa a una temperatura en la que una sustancia también puede existir en estado líquido o sólido, por debajo de la temperatura crítica de la sustancia (Petrucci et al., 2011, pp. 511-513).

En la naturaleza, el vapor es producido por el calentamiento del agua subterránea por procesos volcánicos y es emitido por fuentes termales, géiseres, fumarolas y ciertos tipos de volcanes. Además, este puede generarse a gran escala mediante sistemas tecnológicos, como, por ejemplo, los que emplean calderas que queman combustibles fósiles y reactores nucleares.

La energía de vapor constituye una importante fuente de energía para la sociedad industrial. El agua se calienta a vapor en las centrales eléctricas, y el vapor presurizado impulsa turbinas que producen corriente eléctrica. La energía térmica del vapor se convierte así en energía mecánica, que a su vez se convierte en electricidad.

2.2.10 Calidad del vapor

Es la fracción de masa del vapor que se encuentra en una mezcla saturada de líquido–vapor, este se representa con un número adimensional de 0 (líquido saturado) a 1 (vapor saturado) que indica cuánta agua se convierte en vapor (Kirmani et al., 2021, p. 83). Esta se puede calcular dividiendo la masa del vapor por la masa de la mezcla total (Cengel y Boles, 2015, p. 129):

$$x = \frac{m_{vapor}}{m_{líquido} + m_{vapor}}$$

Donde: x es la calidad de vapor y m es la masa.

2.2.11 Pureza del vapor

Es una medida de la cantidad de sólidos (arrastrados o disueltos) presentes en el vapor y se informa como ppm o ppb. Los bajos niveles de pureza del vapor pueden ser producto de remanentes del agua de caldera, la presencia de tasas de corrosión aceleradas en líneas de vapor o la contaminación del proceso.

2.2.12 Saturación

Es el estado en el que puede existir una mezcla de vapor y líquido a una temperatura y presión dadas. La temperatura a la que comienza a ocurrir la vaporización (ebullición) para una presión

dada se denomina temperatura de saturación o punto de ebullición; mientras, que la presión a la cual comienza a ocurrir la vaporización (ebullición) para una temperatura dada se denomina presión de saturación (Cengel y Boles, 2015, p. 115).

2.2.13 Eficiencia

La eficiencia de la caldera se puede definir como la relación entre la producción de calor útil y la entrada total de energía. Las eficiencias típicas de las calderas van desde alrededor del 90 % para las mejores calderas de combustible de biomasa sólida hasta cerca del 95 % para las calderas de gas natural y petróleo (Vakkilainen, 2017b, pp. 57-86).

La eficiencia de la caldera es el resultado combinado de las eficiencias de sus diferentes componentes y también, depende de sus diversos subsistemas cuya eficiencia afecta la eficiencia general de la misma, algunos de estos factores pueden ser la eficiencia de combustión y la eficiencia térmica.

Además de estas eficiencias, existen otras pérdidas que también juegan un papel al calcular la eficiencia de la caldera como son las pérdidas por irradiación, las pérdidas ON-OFF, las pérdidas por purga, las pérdidas por convección, etc.

En la práctica real, con frecuencia se aplican dos procedimientos diferentes para encontrar la eficiencia de la caldera, y se conocen en general como procesos indirectos y directos de determinación de la eficiencia.

2.2.13.1 Eficiencia de combustión

Es la sugerencia de la capacidad del quemador para quemar combustible que depende de dos parámetros diferentes, como los niveles de exceso de O₂ en el escape y la cantidad de combustible no quemado en el escape, donde esta cantidad de combustible disminuye con un aumento en el exceso cantidad de aire generándose así una disminución de las pérdidas de entalpía elevadas con la pérdida del combustible no quemado, y también la eficiencia de combustión es menor para los combustibles sólidos que para los combustibles gaseosos y líquidos (Hasanuzzaman et al., 2020, pp. 41-86).

2.2.13.2 Eficiencia térmica

La eficacia del intercambiador de calor de la caldera es la eficiencia térmica específica de la caldera, que se convierte en energía térmica del lado de la chimenea al lado del agua y que además se ve afectado por la formación de hollín/incrustaciones en los tubos de la caldera (Hasanuzzaman et al., 2020, pp. 41-86).

2.2.13.3 Eficiencia directa

Este método calcula la eficiencia de la caldera utilizando la fórmula de eficiencia básica (Hasanuzzaman et al., 2020, pp. 41-86):

$$\eta = \frac{\text{Salida de energía}}{\text{Entrada de energía}} \times 100$$
$$\eta = \frac{Q \times (H - h)}{q \times GCV} \times 100$$

Donde: H es entalpía de vapor, kCal/kg; q es la cantidad de combustible utilizada por hora, kg/hr; Q es la cantidad de vapor generado, kg/hr; GCV es el poder calorífico bruto del combustible y h es la entalpía del agua de alimentación, kCal/kg.

2.2.13.4 Eficiencia indirecta

Se determina encontrando las pérdidas individuales que tienen lugar en una caldera y luego se restan esas cantidades del 100%, además esta técnica consiste en encontrar las magnitudes de todas las pérdidas calculables que ocurren en una caldera mediante mediciones individuales (Hasanuzzaman et al., 2020, pp. 41-86).

2.2.14 Purga de caldera

Es la eliminación de agua de una caldera con el propósito de controlar los parámetros del agua de la caldera dentro de los límites prescritos para minimizar las incrustaciones, la corrosión, el arrastre y otros problemas específicos, además se utiliza para eliminar los sólidos en suspensión presentes en el sistema (Ali, 2014, pp. 103-104).

Estos sólidos se originan por la contaminación del agua de alimentación, por los precipitados del tratamiento químico interno o por exceder los límites de solubilidad de las sales solubles. La tasa de purga requerida por una caldera depende de sus condiciones de operación, del diseño de la

caldera y los niveles de contaminantes del agua de alimentación, por tanto, según (Ali, 2014, pp. 103-104) existen dos formas de realizar una purga:

Tabla 2-8: Tipos de purga de caldera

Tipos de purga	Características
Purga manual	<ul style="list-style-type: none"> a) El operador abre la válvula de purga manualmente a intervalos regulares de acuerdo con el programa operativo establecido. b) Permite descargar el agua cuando la calidad del agua se acerca a los límites de operación. c) La válvula se abre con frecuencia y levemente para permitir que solo se produzca una pequeña cantidad de purga con el fin de reducir las pérdidas de calor en términos de agua de purga caliente. d) Es responsable de grandes pérdidas de calor y presión.
Purga continua	<ul style="list-style-type: none"> a) Se realiza de forma continua y automática para mantener los sólidos disueltos y suspendidos por debajo de los límites operativos de la caldera. b) Permite regular la calidad del agua y mantener el nivel de sólidos en suspensión dentro del tanque del calentador en todo momento. c) Ayuda a eliminar una cantidad máxima de sólidos disueltos con una pérdida mínima de agua y calor de la caldera. d) El calor en términos de agua caliente de la caldera se puede utilizar para precalentar el agua de alimentación instalando un intercambiador de calor o un equipo de recuperación de calor en la ruta.

Fuente: Ali A., 2014, pp. 103-104.

La tasa de purga puede oscilar entre menos del 1 % cuando se dispone de agua de alimentación de muy alta calidad y más del 20 % en un sistema crítico con agua de alimentación de mala calidad (Ali, 2014, pp. 103-104).

2.2.15 Ciclos de concentración

Se refiere a la medición del grado en que las impurezas sólidas del agua de alimentación de la caldera se concentran en el agua dentro de la caldera y también, determinan la tasa de purga de la caldera (Bahadori, 2016, p. 81).

La forma de calcular los ciclos de concentración y la tasa de purga es:

$$\text{Ciclos de concentración} = \frac{\text{Sólidos disueltos totales (TDS) en el agua de caldera}}{\text{Sólidos disueltos totales (TDS) en el agua alimentación}}$$
$$\% \text{Purga} = \frac{1}{\text{Ciclos de concentración}}$$

Los ciclos de concentración en general se estiman midiendo los niveles relativos de una impureza soluble en el agua de la caldera y el agua de alimentación, por tanto, cuanto más altos son los ciclos de concentración, más impurezas del agua de alimentación se han concentrado en el agua de la caldera y menor es la tasa de purga (Bahadori, 2016, p. 81).

2.2.16 pH

El pH, también conocido como el grado de acidez o alcalinidad, es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en una solución. La escala de pH de 0 a 14 cubre todas las concentraciones de iones de hidrógeno que se encuentran en soluciones acuosas diluidas y sistemas biológicos. El agua pura tiene un pH de 7 que se considera neutral. Cuando $\text{pH} < 7$, la solución es ácida y cuando $\text{pH} > 7$, la solución es básica o alcalina.

2.2.17 Conductividad

Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transferir una corriente eléctrica. La corriente es transportada por iones y, por lo tanto, la conductividad aumenta con la concentración de iones presentes en la solución, su movilidad y la temperatura del agua (Zhuiykov, 2018, pp. 475-538). Sus resultados se expresan en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2.18 Alcalinidad

Es la capacidad del agua para resistir cambios ácidos en el pH, en esencial la alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar el ácido (capacidad de amortiguamiento). La presencia de sustancias químicas como hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, afectan la alcalinidad del agua, es decir, el agua con alta alcalinidad es menos propensa a volverse más ácida si está contaminada con agua ácida, como la lluvia ácida.

2.2.19 Dureza total

Es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambas expresadas como carbonato de calcio, en miligramos por litro (mg/L). Una dureza total alta puede provocar una turbidez anormal y la formación de incrustaciones. Sin embargo, niveles de dureza demasiado bajos pueden hacer que el agua sea corrosiva y más agresiva.

Por lo tanto, las industrias que utilizan equipos y maquinaria que manejan agua deben asegurarse de que los niveles de dureza total se mantengan en los niveles adecuados para evitar que el agua se vuelva corrosiva.

2.2.20 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) hace referencia al nivel de oxígeno libre no compuesto (O_2) disuelto en agua u otros líquidos. Este es un parámetro importante en la evaluación de la calidad del agua debido a su influencia en los organismos que viven dentro de un cuerpo de agua (Abu Shmeis, 2018, pp. 1-56).

2.2.21 Oxigenometro

El medidor de oxígeno se utiliza para medir la cantidad de oxígeno disuelto en líquidos. Las dos escalas de medición que se emplean en general son: partes por millón (ppm); o porcentaje de saturación (%), que se define como el porcentaje de oxígeno disuelto en 1 litro de agua, respecto la cantidad máxima de oxígeno disuelto que puede contener 1 litro de agua. Es necesario determinar la cantidad de oxígeno disuelto en el agua porque es un indicador de la calidad del agua (Hanna, 2018, párr. 1).

2.2.22 pH-metro

Un pHmetro o medidor de pH es el dispositivo eléctrico utilizado para medir la actividad de los iones de hidrógeno (acidez o alcalinidad) en una solución. En general, un medidor de pH consta de un voltímetro conectado a un electrodo sensible al pH y un electrodo de referencia (invariable), donde el voltímetro mide la diferencia de potencial entre los electrodos de vidrio y de referencia (Gregersen, 2021, párr. 1). Los medidores de pH se utilizan en una variedad de aplicaciones que van desde experimentos de laboratorio hasta control de calidad.

2.2.23 PLC

Un controlador lógico programable (PLC) es una forma especial de controlador basado en microprocesador que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y está diseñado para ser operado por ingenieros con un conocimiento limitado de computadoras y lenguajes informáticos.

Por lo tanto, los diseñadores del PLC lo han preprogramado para que el programa de control se pueda ingresar utilizando una forma gráfica simple de lenguaje llamada programas de escalera (Bolton, 2002, pp. 134-159). El PLC es un equipo utilizado por aquellas industrias que buscan dar un salto significativo en la automatización de todos sus procesos.



Ilustración 2-7: PLC

Fuente: FLUIDECO, 2017.

2.2.24 Sistema de control automático

Se puede decir de forma más estricta que un sistema automático de control no es más que un conjunto de dispositivos que acoplados a un proceso, tratan de conseguir que alguna magnitud del mismo varíe en el transcurso del tiempo de alguna forma previamente definida, y de acuerdo con esta concepción, un sistema de control puede quedar representado en forma esquemática por una caja que recibe una señal de entrada y transmite una señal de salida (Smith y Corripio, 2014, pp. 2-10).



Ilustración 2-8: Esquema de un sistema de control automático

Fuente: Castillo R., 2016.

2.2.24.1 Sistema de control de lazo abierto

Es un tipo de sistema de control continuo en el que la salida no tiene influencia ni efecto sobre la acción de control de la señal de entrada, en otras palabras, en la salida no se mide ni se “realimenta” para compararla con la entrada (Dunn, 2015, p. 105).



Ilustración 2-9: Ejemplo de un sistema de control de lazo abierto

Fuente: Roldan L., 2022.

2.2.24.2 Sistema de control de lazo cerrado

También conocido como sistema de control de retroalimentación, es un tipo de sistema de control en los que la salida tiene un efecto sobre la señal de entrada de tal manera que la señal de entrada se ajustará en función de la salida generada (Kyberd, 2022, p. 314).

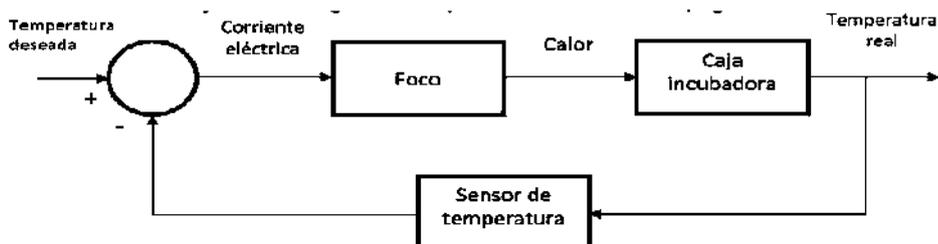


Ilustración 2-10: Ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado

Fuente: Roldan L., 2022.

2.2.24.3 Sistema de control centralizado

Es un tipo de sistema de control donde un componente se designa como controlador y es responsable de administrar la ejecución de otros componentes (Rehman et al., 2019, p. 14). Este tipo de sistema de control se utiliza en muchos campos como la informática, la fabricación y las telecomunicaciones.

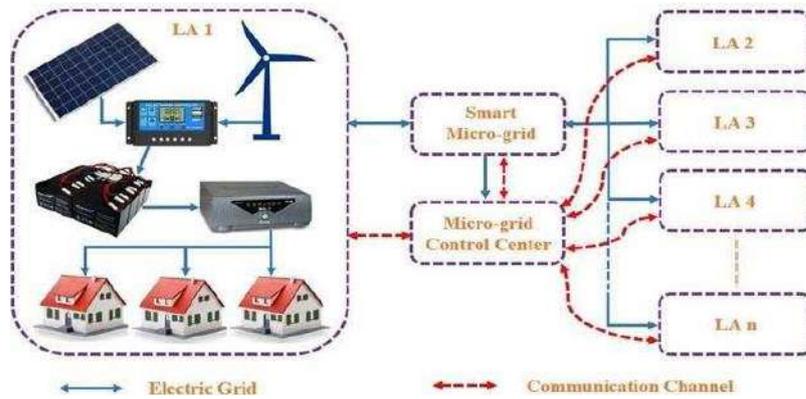


Ilustración 2-11: Ejemplo de un sistema de control centralizado

Fuente: Shrestha A., et al., 2019, p. 3.

2.2.24.4 Sistema de control distribuido

Es un sistema de control automatizado que consta de elementos de control distribuidos geográficamente sobre la planta o el área de control donde cada elemento de proceso o máquina o grupo de máquinas está controlado por un controlador específico (Dunn, 2015, p. 108).

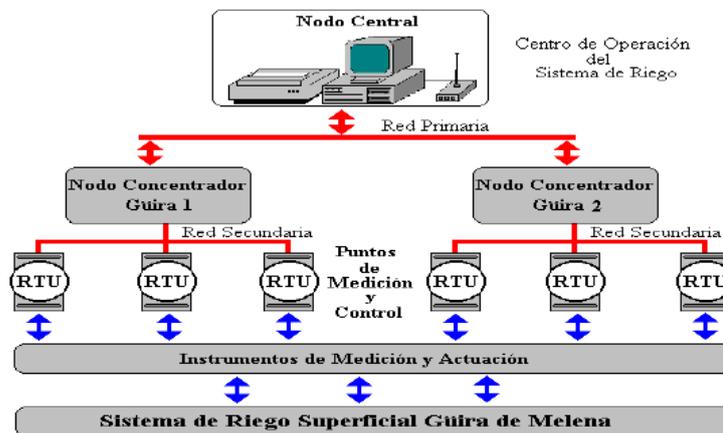


Ilustración 2-12: Ejemplo de un sistema de control distribuido

Fuente: Pérez S., et al., 1998, p. 3.

2.2.25 Ovation

Un componente clave de la arquitectura digital de planta PlantWeb de Emerson, es el sistema SCADA y de control distribuido Ovation que les proporciona a los usuarios mayores niveles de disponibilidad de la planta, fiabilidad y cumplimiento ambiental, además de que este sistema está optimizado para las industrias globales de generación de energía y tratamiento de agua/ aguas residuales (Emerson ES, 2015, párr. 2).

Ovation ha sido construido usando las plataformas de hardware, los sistemas operativos y las arquitecturas de red que son estándar en la industria, y se mantiene actualizado con la tecnología informática; además de que reduce los costos de mantenimiento y conserva su inversión al incorporar componentes estándar en la industria a diferencia de las estructuras patentadas de los otros sistemas (Emerson ES, 2015, párr. 3).

Ovation proporciona una integración sin problemas con dispositivos de campo inteligentes y con estándares de bus adoptados ampliamente, como HART, Foundation Fieldbus, Profibus DP y DeviceNet (Emerson ES, 2015, párr. 4). Emerson ofrece soluciones de simulación Ovation, usa tecnología virtual que reproduce el DCS Ovation en una configuración de simulador con el uso de varias estaciones fijas de trabajo, por lo que este enfoque reduce los costos de hardware y el espacio, permite una fácil portabilidad para usarse en las instalaciones y simplifica el mantenimiento y las actualizaciones continuas del simulador para dar seguimiento a las modificaciones continuas del sistema de control (Emerson ES, 2015, párr. 8).

La simulación Ovation es una herramienta valiosa y flexible para mejorar las operaciones de la planta y las aplicaciones típicas incluyen validación del DCS antes de su instalación, programas de formación de operadores, actualizaciones de ingeniería y cambios de control para mejorar el funcionamiento de la planta (Emerson ES, 2015, párr. 9).

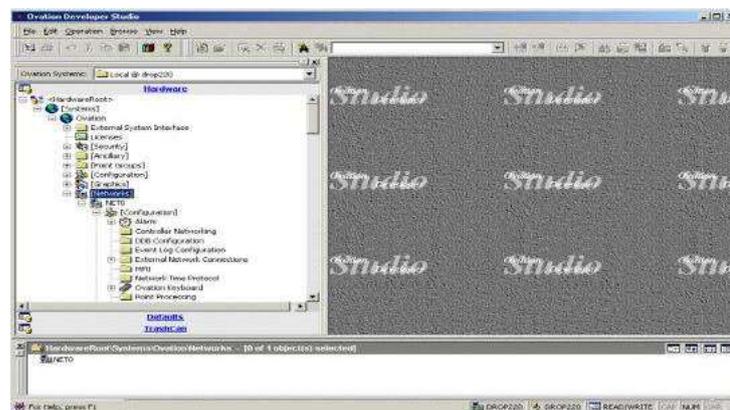


Ilustración 2-13: Interfaz de Ovation

Fuente: Emerson ES, 2015, p. 10.

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de proyecto

El presente proyecto de tipo técnico se basa en el diseño de sistema automático de dosificación de químicos para calderas de baja presión teniendo como fundamento los respectivos cálculos y datos necesarios para su desarrollo. Por tanto, se emplean los métodos inductivo, deductivo y experimental con el objetivo de obtener datos, valores y parámetros que son esenciales para el diseño y dimensionamiento del sistema, además de que se debe sustentar los mismos mediante referencias bibliográficas.

Es de tipo experimental debido a que se obtendrá información directa de la Central Térmica Esmeraldas II a través de la recolección de muestras representativas para su posterior análisis y basándose en los parámetros que se encuentran fuera de los límites establecidos por la normativa vigente se determinará la dosificación de los químicos, el dimensionamiento y distribución de equipos que conformarán el sistema.

3.2 Ubicación del proyecto

La Central Térmica Esmeraldas se encuentra ubicada en la Provincia de Esmeraldas, Cantón Esmeraldas, Parroquia Vuelta Larga, en una extensión aproximada de 205.617 m² y circunscrito bajo los siguientes linderos: Por el norte Carretera Esmeraldas-Atacames km 7 1/2, por el sur con el Río Teaone, por el este con la Subestación la Propicia de Emelesa y el canal de descarga de la Refinería y por el oeste con INDEGA (Coca Cola).

Estratégicamente localizada frente a la Refinería de Esmeraldas y a orillas del Río Teaone, le permite el abastecimiento de: combustible directamente de los tanques de almacenamiento de Refinería, y de agua para los diferentes usos de la Central respectivamente.



Ilustración 3-1: Central Térmica Esmeraldas

Fuente: Google Maps, 2022.

3.3 Métodos y técnicas

3.3.1 Métodos

Para el desarrollo del presente trabajo se tomarán en cuenta tres tipos de método deductivo, inductivo y experimental, debido a que es esencial conocer los hechos más relevantes que se dan en el tratamiento del agua empleada en las calderas de la Central Térmica Esmeraldas II, para poder realizar un óptimo diseño del sistema automático de dosificación.

3.3.1.1 Método deductivo

Este método facilitará la obtención de información relacionada los sistemas de dosificación química en calderas y su automatización, con el fin de mejorar el estado del sistema actual de dosificación de la Central Térmica Esmeraldas II.

Por tanto, se recopilará información en relación con el proyecto mediante textos formales que permitan referenciar el tema, y además sustentar y complementar la mayor parte de la investigación que han aportado los diversos investigadores a lo largo de los años.

Los recursos consultados durante el desarrollo de la investigación son:

- Fuentes iconográficas.
- Medios magnéticos.
- Fuentes bibliográficas

Se emplea el método bibliográfico para obtener fuentes relacionadas al tema de investigación y el método analítico sintético para compendiar la información obtenida durante la investigación bibliográfica.

3.3.1.2 Método inductivo

Este método facilitará conocer la cantidad de los químicos empleados para la regulación de pH y eliminación de oxígeno disuelto del agua del proceso de generación de vapor de la Central Térmica Termoesmeraldas, además permitirá obtener conclusiones claras y concretas. Estos resultados serán posibles mediante un análisis del agua de alimentación, el agua de la caldera y el vapor que se tomarán en el área de estudio para su caracterización.

3.3.1.3 Método experimental

El presente proyecto de tipo técnico se enmarca en el tipo de investigación cuantitativa, debido que al tener una problemática definida se establecen los objetivos específicos, los cuales sirven para resolver o mitigar dicha problemática y, además, se define la recopilación de datos que respaldan la medición y el análisis de la solución óptima a la problemática planteada.

Para llevar a cabo un mejor estudio de la problemática, se realizaron pruebas de caracterización del agua de alimentación, el agua de la caldera y el vapor mediante materiales y equipos adecuados que verifiquen la veracidad de los datos obtenidos para en base a ello realizar la simulación del diseño del sistema automático de dosificación de químicos.

El desarrollar un proyecto para una industria nacional ofrece muchas ventajas en términos de accesibilidad a cada una de sus áreas de trabajo y las facilidades para llevar a cabo la investigación del mismo. Termoesmeraldas-CELEC EP, que es una empresa que pertenece a la industria de generación eléctrica, permitió el acceso al laboratorio del área de control químico que facilitó el trabajo de campo al poder analizar de manera directa las muestras de agua obtenidas, por consiguiente, permitirá obtener con mayor precisión los resultados de cada estudio que se desarrolle en el lugar donde se origina el problema de estudio y con posterioridad darle una solución.

Entre las técnicas para este tipo de investigación se aplicó:

- La observación.
- La experimentación.

- El análisis directo.

Las estrategias para la obtención de los datos requeridos forman parte del diseño experimental para el tratamiento de las variables dependientes, que en el caso de este proyecto de investigación serían la cantidad de dosificación del secuestrante de oxígeno disuelto y la cantidad de dosificación de regulador de pH; y la concentración de oxígeno disuelto y el pH como variable directa, que son producto del proceso de generación de vapor en las calderas de recuperación de calor, el cual debe contar con procesos de acondicionamiento químico del agua ingresa a la caldera.

En el laboratorio, se analizan las variables dependientes del proceso de producción de energía para poder adoptar los procesos requeridos para la disposición final de este recurso. También, se realizan observaciones directas para determinar las diferentes variables y muestras a control del agua con el propósito de establecer el diseño de dosificación automática de agua de alimentación a la caldera

Las fuentes de información para el desarrollo de la investigación se obtuvieron de dos formas: las fuentes primarias y las fuentes secundarias.

En las fuentes primarias, la información se adquiere por la observación directa del problema de estudio en la Central Térmica Esmeraldas II, donde se determina los caudales de dosificación y se realiza los análisis del agua de las calderas.

En las fuentes secundaria, la información se obtiene a partir de revisión de libros, artículos científicos, informes, documentos y revistas relacionadas con el tratamiento y manejo sostenible del agua en calderas industriales, normativas de calidad de agua (nacionales e internacionales) y mecánica de fluidos; que son necesarios para poder diseñar el sistema automático de dosificación de químicos para calderas de baja presión.

La observación directa se utilizó como herramienta de investigación para analizar las condiciones actuales de operación de la planta de tratamiento de agua de las calderas y determinar dónde y cómo se genera el agua contaminada. De la misma manera, se realizó entrevistas con los técnicos del área de control químico y los directivos de la Central Térmica Esmeraldas II a fin de determinar los procesos de tratamiento y distribución de los equipos, en conjunto con el análisis de documentos para determinar el dimensionamiento y el proceso de tratamiento del sistema de dosificación automático.

El programa estadístico Microsoft Excel 360 se utiliza para administrar los datos obtenidos con el propósito de establecer las lecturas de nivel de agua en los tanques de alimentación, el consumo diario de cada químico, el tiempo máximo de funcionamiento de la planta de tratamiento de agua y los niveles de pH y oxígeno disuelto

3.3.2 Técnicas

3.3.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

Tabla 3-1: Técnica para determinar el potencial de hidrógeno

Código	STANDARD METHODS 4500-B
Fundamento	El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez del agua, tiene un rango de 1a14. Si el agua es ácida el pH es menor a 7, si es básica mayor a 7, si es igual a 7 es neutro.
Material y equipos	<ul style="list-style-type: none"> • pH metro • Buffer 7
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrar el equipo utilizando buffer. • Introducir el electrodo en la muestra, agitar suavemente. • Esperar unos segundos que se estabilice, y tomar la lectura.
Reporte de resultado	Lectura directa

Fuente: AWWA., 1989.

3.3.2.2 Oxígeno disuelto (OD)

Tabla 3-2: Técnica para medir oxígeno disuelto

Código	METODO HACH 10360
Fundamento	Mediante el oxígeno disuelto se determina la calidad de agua, por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilización o precipitación de iones. Provoca la corrosión de los metales, en líneas de conducción y equipos, pero su ausencia puede representar la presencia de otros gases.
Material y equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor de oxígeno disuelto HQ30D. • Vasos de precipitación.
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Enjuague la sonda con agua destilada y seque la sonda con un paño sin pelusa.

	<ul style="list-style-type: none"> • Coloque la sonda en el vaso de precipitación que contenga la muestra. • Revuelva la muestra a un ritmo lento a moderado sin tocar el fondo o los lados del recipiente. • Leer cuando la medición sea estable.
Reporte de resultado	Lectura directa

Fuente: HACH., 2021.

3.4 Planificación del muestreo

La realización de un muestreo adecuado nos permite la obtención de datos reales sobre la calidad del agua de alimentación de las calderas, la cual es tratada conforme al cumplimiento de sus parámetros establecidos y, además, de que su adecuado tratamiento es de suma importancia en la operación y mantenimiento de un sistema de calderas.

En el Ecuador, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece 3 normas para llevar a cabo un adecuado muestreo del agua, las cuales son:

- NTE INEN 2226: 2013 “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de sondeo”.
- NTE INEN 2176: 2013 “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de prueba”.
- NTE INEN 2169:2013 “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras”.

A continuación, se muestran una serie de situaciones a considerar al momento de realizar un muestreo del agua de un sistema de calderas:

Tabla 3-3: Situaciones de muestreo en la industria

Agua de los sistemas de caldero	
Agua de una planta de tratamiento	<p>a) En el diseño de una planta de tratamiento la posición de los puntos de muestreo debe considerarse cuidadosamente y usualmente es necesario incluir la toma de muestras en varias etapas del tratamiento, así como a la entrada y salida de los filtros. Cuando hay sólidos en suspensión, se debe lavar la línea antes de tomar la muestra.</p>

	<p>b) Son necesarias técnicas especiales de muestreo para evitar pérdidas cuando se toman muestras en las que se determinen gases disueltos, por ejemplo, oxígeno o dióxido de carbono. Si se incluye una torre para eliminar dióxido de carbono se debe evitar que el manejo posterior de la muestra ocasione pérdidas o incrementos en el mismo. El tubo de muestreo debe ser introducido en el cuerpo de agua para evitar las condiciones anómalas de la superficie.</p>
<p>Aguas de alimentación del caldero y agua del caldero</p>	<p>a) El agua proveniente de varios puntos de muestreo en el circuito agua/condensado/vapor contendrá solamente trazas de las impurezas de interés; se debe poner especial cuidado para evitar la contaminación de las muestras en el intervalo entre el muestreo y el análisis.</p> <p>b) Los sistemas de muestreo deben, normalmente, estar fabricados de acero inoxidable y ser de una estructura que permita operar a las presiones a las que están expuestas.</p> <p>c) El agua para alimentar al caldero es, a menudo una mezcla de agua de alimentación tratada y de condensado que regresa. El punto de muestreo debe estar ubicado después que la mezcla haya ocurrido.</p> <p>d) Cuando se utilizan procesos físicos y/o químicos para la desaireación, se requiere de un muestreo para verificar la eficacia total de la desaireación.</p> <p>e) Para asegurar una muestra representativa del agua del caldero se debe muestrear en la tubería lateral de salida del agua.</p>
<p>Vapor y vapor condensado</p>	<p>En la industria es importante controlar la calidad del vapor y normalmente es necesario tomar muestras del vapor condensado en las líneas de retorno y del vapor super caliente o del vapor húmedo bajo presión. Este tipo de muestreo se debe utilizar la sonda isocinética juntamente con un adecuado sistema de enfriamiento del condensado (de preferencia el material usado en el sistema de enfriamiento debe ser acero inoxidable). Se deben tomar precauciones para evitar la contaminación en el intervalo entre el muestreo y el análisis.</p>
<p>Agua de los sistemas de enfriamiento</p>	<p>Hay tres tipos de sistemas de enfriamiento:</p> <p>a) Evaporación abierta.</p> <p>b) Sistema continuo.</p>

	<p>e) Circuito cerrado.</p> <p>Normalmente en un sistema de evaporación abierto, se muestrea el agua que entra (agua de reposición) y el agua que circula. En un sistema continuo el punto de muestreo es a la salida. En un sistema de circuito cerrado el muestreo se debe realizar en el momento que se descarga del sistema.</p>
--	---

Fuente: INEN, 2013.

A continuación, se muestra la tabla de la planificación de muestreo diario:

Tabla 3-4: Plan de muestreo

N° de muestra	Hora	Volumen de agua recolectada (L)	Volumen de la muestra de agua (L)
1	8:00 – 9:00	1000	0,40
2	10:00 – 11:00	1000	0,40
3	12:00 – 13:00	1000	0,40
4	14:00 – 15:00	1000	0,40
5	16:00 – 17:00	1000	0,40

Realizado por: Salamea J., 2022.

3.5 Variables de investigación

Las variables que vamos a considerar son de tipo cuantitativa, y se recolecta a través del análisis de los datos existentes de las dosificaciones manuales que se ejecutan en la zona de tratamiento del agua de alimentación de calderas de la Central Térmica Esmeraldas II.

Las variables de estudio del proyecto son: La cantidad de dosificación del secuestrante de oxígeno disuelto, la cantidad de dosificación de regulador de pH, la concentración de oxígeno disuelto y la concentración de pH.

3.6 Recursos

3.6.1 Recursos humanos

Durante el desarrollo de la investigación y consecución del proyecto, intervinieron muchas personas como expertos y asesores:

Tabla 3-5: Recursos humanos

Nombre	Título	Cargo
Diego Méndez	Ingeniero Químico	Encargado del área química y laboratorio de la Central Térmica Esmeraldas II.
Tatiana Jaramillo	Ingeniera Químico	Técnica de laboratorio de la Central Térmica Esmeraldas II.
Carlos Izaguirre	Ingeniero Electrónico	Supervisor de Operaciones de la Central Térmica Esmeraldas II.

Realizado por: Salamea J., 2023.

3.6.2 Recursos materiales

Los recursos materiales para el desarrollo de la investigación se clasifican en hardware y software, además de que se empleó diferentes materiales de oficina básicos.

Para el hardware empleado en la investigación tenemos:

Tabla 3-6: Hardware utilizado en la investigación

HARWARE	DESCRIPCIÓN
Laptop	Marca Dell procesador Core I5
Teléfono inteligente	Marca Huawei P9
Medidor multiparámetro (pH, conductividad)	OPR
Medidor de Oxígeno	Hach Qd30
Cronómetro	Casio WP235
Calculadora científica	Fx 386

Realizado por: Salamea J., 2023.

Mientras que entre los softwares utilizados en el desarrollo de la investigación tenemos:

Tabla 3-7: Software utilizados en la investigación

SOFTWARE	DESCRIPCIÓN
Device net	Pant202 v5.6

Microsoft office 360	V 2020
Sistema Ovation 3.7	Logic Control 3.7
Sistema DCS	Controladores (DROP1/51, DROP 2/52, DROP 3/53 y DROP 4/54)
Sonda de temperatura	Mettler Toledo

Realizado por: Salamea J., 2023.

3.7 Modelo matemático del sistema

Para realizar la modelación, se recurre al balance de masa del sistema de dosificación de la Ilustración 3-2 considerando el volumen fijo, la densidad constante y el contenido del tanque de condensado es una mezcla perfecta.

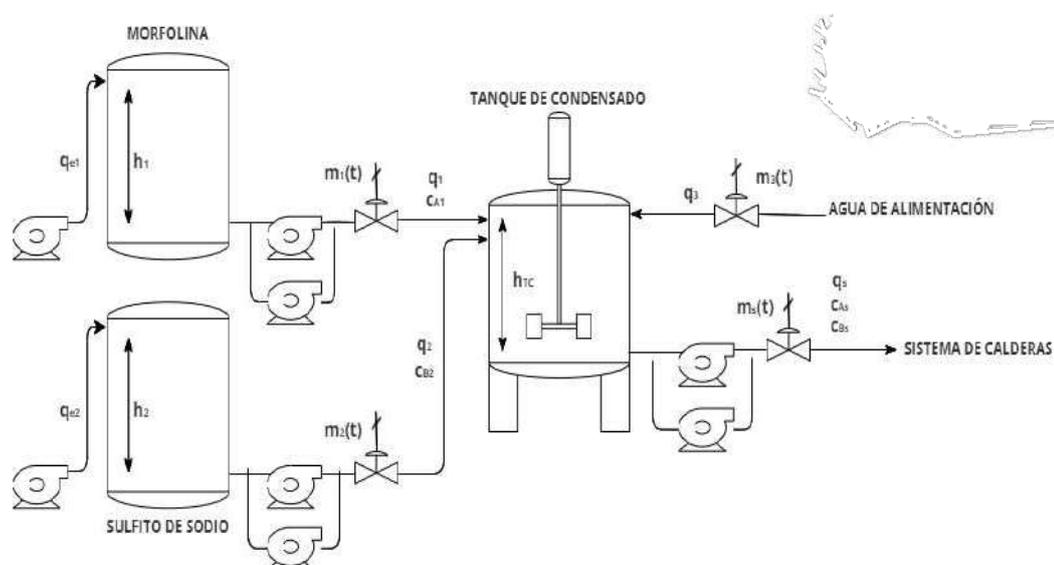


Ilustración 3-2: Esquema del sistema de automatización de dosificación de químicos

Realizado por: Salamea J., 2023.

3.7.1 Modelado estacionario

La ecuación general del balance de materia de un sistema establece que:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo}$$

Para sistemas no reactivos en régimen estacionario, la ecuación se reduce a:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = 0$$

3.7.1.1 Balance de masa del tanque de morfolina

El balance de masa en estado estacionario para el tanque dosificador de morfolina para el control de pH del sistema está dado por:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{T1} &= \dot{m}_{e1} - \dot{m}_1 \\ \rho q_{e1} - \rho q_1 &= 0 \\ q_{e1} - q_1 &= 0\end{aligned}$$

Donde \dot{m} es el flujo másico, ρ es la densidad del líquido y q es el flujo volumétrico.

3.7.1.2 Balance de masa del tanque de sulfito de sodio

El balance de masa en estado estacionario para el tanque dosificador de sulfito de sodio para el control de oxígeno disuelto del sistema está dado por:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{T2} &= \dot{m}_{e2} - \dot{m}_2 \\ \rho q_{e2} - \rho q_2 &= 0 \\ q_{e2} - q_2 &= 0\end{aligned}$$

3.7.1.3 Balance de masa del tanque de condensado

El balance de masa en estado estacionario para el tanque de condensado está dado por:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{Tc} &= \dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 - \dot{m}_s \\ \rho q_1 + \rho q_2 + \rho q_3 - \rho q_s &= 0 \\ q_1 + q_2 + q_3 - q_s &= 0\end{aligned}$$

3.7.1.4 Balance de masa de la morfolina

El balance de masa en estado estacionario de la concentración de morfolina (A) está dado por:

$$\begin{aligned}\dot{m}_A &= \dot{m}_{A1} - \dot{m}_{As} \\ Vc_A &= q_1c_{A1} - q_sc_{As} \\ q_1c_{A1} - q_sc_{As} &= 0\end{aligned}$$

Donde c_A es la concentración de la morfolina y V es el volumen del tanque de condensado.

3.7.1.5 Balance de masa del sulfito de sodio

El balance de masa en estado estacionario de la concentración de sulfito de sodio (B) está dado por:

$$\begin{aligned}\dot{m}_B &= \dot{m}_{B_2} - \dot{m}_{B_s} \\ Vc_B &= q_2c_{B2} - q_s c_{Bs} \\ q_2c_{B2} - q_s c_{Bs} &= 0\end{aligned}$$

Donde c_B es la concentración del sulfito de sodio.

3.7.2 Modelado dinámico

Para sistemas no reactivos en régimen no estacionario, la ecuación de balance de materia es:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida}$$

En el régimen no estacionario o modelo dinámico, las variables del proceso varían con el tiempo, es decir, que son funciones del tiempo por lo que se usa la notación (t) después de la variable.

3.7.2.1 Balance de masa del tanque de morfina

El balance de masa en estado no estacionario para el tanque dosificador de morfina para el control de pH del sistema está dado por:

$$\begin{aligned}\frac{d\dot{m}_{T1}}{dt} &= \dot{m}_{e1}(t) - \dot{m}_1(t) \\ \frac{d(\rho A_{T1} h_1(t))}{dt} &= \rho q_{e1}(t) - \rho q_1(t) \\ \frac{dh_1(t)}{A_{T1} dt} &= q_{e1}(t) - q_1(t)\end{aligned}$$

Donde A_{T1} es la sección transversal del tanque de morfina, $h_1(t)$ es el nivel del líquido en el tanque de morfina, $q_{e1}(t)$ es el flujo de entrada al tanque de morfina, $q_1(t)$ es el flujo de salida del tanque de morfina y se está suponiendo el uso de unidades consistentes.

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación anterior en términos de las variables de desviación y reordenando términos se obtiene:

$$\begin{aligned}H_1(t) &= h_1(t) - \bar{h}_1 \\ Q_{e1}(t) &= q_{e1}(t) - \bar{q}_{e1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_1(t) &= q_1(t) - \bar{q}_1 \\
A_{T1} \frac{dH_1(t)}{dt} &= Q_{e1}(t) - Q_1(t) \\
A_{T1} \mathcal{L} \left\{ \frac{dH_1(t)}{dt} \right\} &= \mathcal{L}\{Q_{e1}(t)\} - \mathcal{L}\{Q_1(t)\} \\
A_{T1} s H_1(s) &= Q_{e1}(s) - Q_1(s) \\
H_1(s) &= \frac{1}{A_{T1} s} [Q_{e1}(s) - Q_1(s)]
\end{aligned}$$

Considerando que el flujo de salida del tanque de morfolina sólo es una función de la posición de la válvula y modelando la válvula como un retardo de primer orden, tenemos:

$$\begin{aligned}
\tau_{v1} \frac{dq_1(t)}{dt} + q_1(t) &= K_{v1} m_1(t) \\
M_1(t) &= m_1(t) - \bar{m}_1 \\
\tau_{v1} \frac{dQ_1(t)}{dt} + Q_1(t) &= K_{v1} M_1(t) \\
\tau_{v1} \mathcal{L} \left\{ \frac{dQ_1(t)}{dt} \right\} + \mathcal{L}\{Q_1(t)\} &= K_{v1} \mathcal{L}\{M_1(t)\} \\
\tau_{v1} s Q_1(s) + Q_1(s) &= K_{v1} M_1(s) \\
Q_1(s) (\tau_{v1} s + 1) &= K_{v1} M_1(s) \\
Q_1(s) &= \frac{K_{v1}}{\tau_{v1} s + 1} M_1(s)
\end{aligned}$$

Donde K_{v1} es la ganancia de la válvula 1, τ_{v1} es la constante de tiempo de la válvula 1 y $M_1(s)$ es la señal de salida del controlador.

Sustituyendo el término $Q_1(s)$ en la ecuación $H_1(s)$, se obtiene:

$$H_1(s) = \frac{1}{A_{T1} s} Q_{e1}(s) - \frac{K_{v1}}{A_{T1} s (\tau_{v1} s + 1)} M_1(s)$$

De donde se obtiene las funciones de transferencia individuales de:

$$\begin{aligned}
\frac{H_1(s)}{Q_{e1}(s)} &= \frac{1}{A_{T1} s} \\
\frac{H_1(s)}{M_1(s)} &= - \frac{K_{v1}}{A_{T1} s (\tau_{v1} s + 1)}
\end{aligned}$$

3.7.2.2 Balance de masa del tanque de sulfito de sodio

El balance de masa en estado no estacionario para el tanque dosificador de sulfito de sodio para el control de oxígeno disuelto del sistema está dado por:

$$\begin{aligned}\frac{d\dot{m}_{T2}}{dt} &= \dot{m}_{e2}(t) - \dot{m}_2(t) \\ \frac{d(\rho A_{T2} h_2(t))}{dt} &= \rho q_{e2}(t) - \rho q_2(t) \\ \frac{dh_2(t)}{A_{T2} dt} &= q_{e2}(t) - q_2(t)\end{aligned}$$

Donde A_{T2} es la sección transversal del tanque de morfolina, $h_2(t)$ es el nivel del líquido en el tanque de sulfito de sodio, $q_{e2}(t)$ es el flujo de entrada al tanque de sulfito de sodio, $q_2(t)$ es el flujo de salida del tanque de sulfito de sodio y se está suponiendo el uso de unidades consistentes. Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación anterior en términos de las variables de desviación y reordenando términos se obtiene:

$$\begin{aligned}H_2(t) &= h_2(t) - \bar{h}_2 \\ Q_{e2}(t) &= q_{e2}(t) - \bar{q}_{e2} \\ Q_2(t) &= q_2(t) - \bar{q}_2 \\ A_{T2} \frac{dH_2(t)}{dt} &= Q_{e2}(t) - Q_2(t) \\ A_{T2} \mathcal{L} \left\{ \frac{dH_2(t)}{dt} \right\} &= \mathcal{L}\{Q_{e2}(t)\} - \mathcal{L}\{Q_2(t)\} \\ A_{T2} s H_2(s) &= Q_{e2}(s) - Q_2(s) \\ H_2(s) &= \frac{1}{A_{T2} s} [Q_{e2}(s) - Q_2(s)]\end{aligned}$$

Considerando que el flujo de salida del tanque de sulfito de sodio sólo es una función de la posición de la válvula y modelando la válvula como un retardo de primer orden, tenemos:

$$\begin{aligned}\tau_{v2} \frac{dq_2(t)}{dt} + q_2(t) &= K_{v2} m_2(t) \\ M_2(t) &= m_2(t) - \bar{m}_2 \\ \tau_{v2} \frac{dQ_2(t)}{dt} + Q_2(t) &= K_{v2} M_2(t) \\ \tau_{v2} \mathcal{L} \left\{ \frac{dQ_2(t)}{dt} \right\} + \mathcal{L}\{Q_2(t)\} &= K_{v2} \mathcal{L}\{M_2(t)\} \\ \tau_{v2} s Q_2(s) + Q_2(s) &= K_{v2} M_2(s) \\ Q_2(s) (\tau_{v2} s + 1) &= K_{v2} M_2(s)\end{aligned}$$

$$Q_2(s) = \frac{K_{v2}}{\tau_{v2}s + 1} M_2(s)$$

Donde K_{v2} es la ganancia de la válvula 2, τ_{v2} es la constante de tiempo de la válvula 2 y $M_2(s)$ es la señal de salida del controlador.

Sustituyendo el término $Q_2(s)$ en la ecuación $H_2(s)$, se obtiene:

$$H_2(s) = \frac{1}{A_{T2}s} Q_{e2}(s) - \frac{K_{v2}}{A_{T2}s(\tau_{v2}s + 1)} M_2(s)$$

De donde se obtiene las funciones de transferencia individuales de:

$$\frac{H_2(s)}{Q_{e2}(s)} = \frac{1}{A_{T2}s}$$

$$\frac{H_2(s)}{M_2(s)} = -\frac{K_{v2}}{A_{T2}s(\tau_{v2}s + 1)}$$

3.7.2.3 Balance de masa del tanque de condensado

El balance de masa en estado no estacionario para el tanque de condensado está dado por:

$$\frac{d\dot{m}_{TC}}{dt} = \dot{m}_1(t) + \dot{m}_2(t) + \dot{m}_3(t) - \dot{m}_s(t)$$

$$\frac{d(\rho A_{TC} h_{TC}(t))}{dt} = \rho q_1(t) + \rho q_2(t) + \rho q_3(t) - \rho q_s(t)$$

$$A_{TC} \frac{dh_{TC}(t)}{dt} = q_1(t) + q_2(t) + q_3(t) - q_s(t)$$

Donde A_{TC} es la sección transversal del tanque de condensado, $h_{TC}(t)$ es el nivel del líquido en el tanque de condensado, $q_1(t)$ es el flujo de morfolina, $q_2(t)$ es el flujo de sulfito de sodio, $q_3(t)$ es el flujo de agua de alimentación, $q_s(t)$ es el flujo de agua tratada y se está suponiendo el uso de unidades consistentes.

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación anterior en términos de las variables de desviación y reordenando términos se obtiene:

$$H_{TC}(t) = h_{TC}(t) - \overline{h_{TC}}$$

$$Q_1(t) = q_1(t) - \overline{q_1}$$

$$Q_2(t) = q_2(t) - \overline{q_2}$$

$$Q_3(t) = q_3(t) - \overline{q_3}$$

$$Q_s(t) = q_s(t) - \overline{q_s}$$

$$A_{TC} \frac{dH_{TC}(t)}{dt} = Q_1(t) + Q_2(t) + Q_3(t) - Q_s(t)$$

$$A_{TC} \mathcal{L} \left\{ \frac{dH_{TC}(t)}{dt} \right\} = \mathcal{L}\{Q_1(t)\} + \mathcal{L}\{Q_2(t)\} + \mathcal{L}\{Q_3(t)\} - \mathcal{L}\{Q_s(t)\}$$

$$A_{TC} s H_{TC}(s) = Q_1(s) + Q_2(s) + Q_3(s) - Q_s(s)$$

$$H_{TC}(s) = \frac{1}{A_{TC} s} [Q_1(s) + Q_2(s) + Q_3(s) - Q_s(s)]$$

Considerando que el flujo de agua de alimentación y el flujo de agua tratada sólo son funciones de la posición de las válvulas y modelando las válvulas como un retardo de primer orden, tenemos:

- Para el agua de alimentación

$$\tau_{v3} \frac{dq_3(t)}{dt} + q_3(t) = K_{v3} m_3(t)$$

$$M_3(t) = m_3(t) - \bar{m}_3$$

$$\tau_{v3} \frac{dQ_3(t)}{dt} + Q_3(t) = K_{v3} M_3(t)$$

$$\tau_{v3} \mathcal{L} \left\{ \frac{dQ_3(t)}{dt} \right\} + \mathcal{L}\{Q_3(t)\} = K_{v3} \mathcal{L}\{M_3(t)\}$$

$$\tau_{v3} s Q_3(s) + Q_3(s) = K_{v3} M_3(s)$$

$$Q_3(s)(\tau_{v3} s + 1) = K_{v3} M_3(s)$$

$$Q_3(s) = \frac{K_{v3}}{\tau_{v3} s + 1} M_3(s)$$

Donde K_{v3} es la ganancia de la válvula 3, τ_{v3} es la constante de tiempo de la válvula 3 y $M_3(s)$ es la señal de salida del controlador.

- Para el agua tratada

$$\tau_{vs} \frac{dq_s(t)}{dt} + q_s(t) = K_{vs} m_s(t)$$

$$M_s(t) = m_s(t) - \bar{m}_s$$

$$\tau_{vs} \frac{dQ_s(t)}{dt} + Q_s(t) = K_{vs} M_s(t)$$

$$\tau_{vs} \mathcal{L} \left\{ \frac{dQ_s(t)}{dt} \right\} + \mathcal{L}\{Q_s(t)\} = K_{vs} \mathcal{L}\{M_s(t)\}$$

$$\tau_{vs} s Q_s(s) + Q_s(s) = K_{vs} M_s(s)$$

$$Q_s(s)(\tau_{vs} s + 1) = K_{vs} M_s(s)$$

$$Q_s(s) = \frac{K_{vs}}{\tau_{vs} s + 1} M_s(s)$$

Donde K_{vs} es la ganancia de la válvula s , τ_{vs} es la constante de tiempo de la válvula s y $M_s(s)$ es la señal de salida del controlador.

Sustituyendo los términos $Q_1(s)$, $Q_2(s)$, $Q_3(s)$ y $Q_s(s)$ en la ecuación $H_{TC}(s)$, se obtiene:

$$H_{TC}(s) = \frac{K_{v1}}{A_{TC}s(\tau_{v1}s + 1)}M_1(s) + \frac{K_{v2}}{A_{TC}s(\tau_{v2}s + 1)}M_2(s) + \frac{K_{v3}}{A_{TC}s(\tau_{v3}s + 1)}M_3(s) - \frac{K_{vs}}{A_{TC}s(\tau_{vs}s + 1)}M_s(s)$$

De donde se obtiene las funciones de transferencia individuales de:

$$\frac{H_{TC}(s)}{M_1(s)} = \frac{K_{v1}}{A_{TC}s(\tau_{v1}s + 1)}$$

$$\frac{H_{TC}(s)}{M_2(s)} = \frac{K_{v2}}{A_{TC}s(\tau_{v2}s + 1)}$$

$$\frac{H_{TC}(s)}{M_3(s)} = \frac{K_{v3}}{A_{TC}s(\tau_{v3}s + 1)}$$

$$\frac{H_{TC}(s)}{M_s(s)} = -\frac{K_{vs}}{A_{TC}s(\tau_{vs}s + 1)}$$

3.7.2.4 Balance de masa de la morfolina

El balance de masa en estado no estacionario de la concentración de morfolina (A) está dado por:

$$\begin{aligned} \frac{d\dot{m}_A(t)}{dt} &= \frac{d\dot{m}_{A1}(t)}{dt} - \frac{d\dot{m}_{As}(t)}{dt} \\ \frac{dVc_A(t)}{dt} &= q_1(t)c_{A1}(t) - q_s(t)c_{As}(t) \\ V \frac{dc_A(t)}{dt} &= q_1(t)c_{A1}(t) - q_s(t)c_{As}(t) \end{aligned}$$

Linealizando los términos no lineales de la ecuación y reemplazándolos, obtenemos:

$$Q_1(t) = q_1(t) - \bar{q}_1$$

$$Q_s(t) = q_s(t) - \bar{q}_s$$

$$C_A(t) = c_A(t) - \bar{c}_A$$

$$C_{A1}(t) = c_{A1}(t) - \bar{c}_{A1}$$

$$C_{As}(t) = c_{As}(t) - \bar{c}_{As}$$

$$\begin{aligned} q_1(t)c_{A1}(t) &\rightarrow f(q_1(t), c_{A1}(t)) \rightarrow f(X) \\ f(X) &\cong f(\bar{X}) + \left[\frac{\partial f(X)}{\partial q_1(t)} \right]_{\bar{X}} Q_1(t) + \left[\frac{\partial f(X)}{\partial c_{A1}(t)} \right]_{\bar{X}} C_{A1}(t) \\ f(\bar{X}) &= 0 \end{aligned}$$

$$\left[\frac{\partial f(X)}{\partial q_1(t)} \right]_{\bar{X}} = \bar{c}_{A1}$$

$$\left[\frac{\partial f(X)}{\partial c_{A1}(t)} \right]_{\bar{X}} = \bar{q}_1$$

$$q_1(t)c_{A1}(t) \cong \bar{c}_{A1}Q_1(t) + \bar{q}_1C_{A1}(t)$$

$$q_s(t)c_{As}(t) \rightarrow f(q_s(t), c_{As}(t)) \rightarrow f(Y)$$

$$f(Y) \cong f(\bar{Y}) + \left[\frac{\partial f(Y)}{\partial q_s(t)} \right]_{\bar{Y}} Q_s(t) + \left[\frac{\partial f(Y)}{\partial c_{As}(t)} \right]_{\bar{Y}} C_{As}(t)$$

$$f(\bar{Y}) = 0$$

$$\left[\frac{\partial f(Y)}{\partial q_s(t)} \right]_{\bar{Y}} = \bar{c}_{As}$$

$$\left[\frac{\partial f(Y)}{\partial c_{As}(t)} \right]_{\bar{Y}} = \bar{q}_s$$

$$q_s(t)c_{As}(t) \cong \bar{c}_{As}Q_s(t) + \bar{q}_sC_{As}(t)$$

$$V \frac{dC_A(t)}{dt} = \bar{c}_{A1}Q_1(t) + \bar{q}_1C_{A1}(t) - \bar{c}_{As}Q_s(t) - \bar{q}_sC_{As}(t)$$

$$\frac{dC_A(t)}{dt} = \frac{\bar{c}_{A1}}{V} Q_1(t) + \frac{\bar{q}_1}{V} C_{A1}(t) - \frac{\bar{c}_{As}}{V} Q_s(t) - \frac{\bar{q}_s}{V} C_{As}(t)$$

$$K_1 = \frac{\bar{c}_{A1}}{V}$$

$$K_2 = \frac{\bar{q}_1}{V}$$

$$K_3 = \frac{\bar{c}_{As}}{V}$$

$$K_4 = \frac{\bar{q}_s}{V}$$

$$\frac{dC_A(t)}{dt} = K_1Q_1(t) + K_2C_{A1}(t) - K_3Q_s(t) - K_4C_{As}(t)$$

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación anterior y reordenando términos se obtiene:

$$\mathcal{L} \left\{ \frac{dC_A(t)}{dt} \right\} = K_1 \mathcal{L}\{Q_1(t)\} + K_2 \mathcal{L}\{C_{A1}(t)\} - K_3 \mathcal{L}\{Q_s(t)\} - K_4 \mathcal{L}\{C_{As}(t)\}$$

$$sC_A(s) = K_1Q_1(s) + K_2C_{A1}(s) - K_3Q_s(s) - K_4C_{As}(s)$$

$$C_A(s) = \frac{K_1}{s} Q_1(s) + \frac{K_2}{s} C_{A1}(s) - \frac{K_3}{s} Q_s(s) - \frac{K_4}{s} C_{As}(s)$$

Sustituyendo los términos $Q_1(s)$ y $Q_s(s)$ en la ecuación, tenemos:

$$C_A(s) = \frac{K_1 K_{v1}}{s(\tau_{v1}s + 1)} M_1(s) + \frac{K_2}{s} C_{A1}(s) - \frac{K_3 K_{vs}}{s(\tau_{vs}s + 1)} M_s(s) - \frac{K_4}{s} C_{As}(s)$$

De donde se obtiene las funciones de transferencia individuales de:

$$\frac{C_A(s)}{M_1(s)} = \frac{K_1 K_{v1}}{s(\tau_{v1}s + 1)}$$

$$\frac{C_A(s)}{C_{A1}(s)} = \frac{K_2}{s}$$

$$\frac{C_A(s)}{M_s(s)} = -\frac{K_3 K_{vs}}{s(\tau_{vs}s + 1)}$$

$$\frac{C_A(s)}{C_{As}(s)} = -\frac{K_4}{s}$$

3.7.2.5 Balance de masa del sulfito de sodio

El balance de masa en estado no estacionario de la concentración de sulfito de sodio (B) está dado por:

$$\begin{aligned} \frac{d\dot{m}_B(t)}{dt} &= \frac{d\dot{m}_{B2}(t)}{dt} - \frac{d\dot{m}_{Bs}(t)}{dt} \\ \frac{dVc_B(t)}{dt} &= q_2(t)c_{B2}(t) - q_s(t)c_{Bs}(t) \\ V \frac{dc_B(t)}{dt} &= q_2(t)c_{B2}(t) - q_s(t)c_{Bs}(t) \end{aligned}$$

Linealizando los términos no lineales de la ecuación y reemplazándolos, obtenemos:

$$Q_2(t) = q_2(t) - \bar{q}_2$$

$$Q_s(t) = q_s(t) - \bar{q}_s$$

$$C_B(t) = c_B(t) - \bar{c}_B$$

$$C_{B2}(t) = c_{B2}(t) - \bar{c}_{B2}$$

$$C_{Bs}(t) = c_{Bs}(t) - \bar{c}_{Bs}$$

$$q_2(t)c_{B2}(t) \rightarrow f(q_2(t), c_{B2}(t)) \rightarrow f(X)$$

$$f(X) \cong f(\bar{X}) + \left[\frac{\partial f(X)}{\partial q_2(t)} \right]_{\bar{X}} Q_2(t) + \left[\frac{\partial f(X)}{\partial c_{B2}(t)} \right]_{\bar{X}} C_{B2}(t)$$

$$f(\bar{X}) = 0$$

$$\left[\frac{\partial f(X)}{\partial q_2(t)} \right]_{\bar{X}} = \bar{c}_{B2}$$

$$\left[\frac{\partial f(X)}{\partial c_{B2}(t)} \right]_{\bar{X}} = \bar{q}_2$$

$$q_2(t)c_{B2}(t) \cong \bar{c}_{B2}Q_2(t) + \bar{q}_2C_{B2}(t)$$

$$q_s(t)c_{Bs}(t) \rightarrow f(q_s(t), c_{Bs}(t)) \rightarrow f(Y)$$

$$f(Y) \cong f(\bar{Y}) + \left[\frac{\partial f(Y)}{\partial q_s(t)} \right]_{\bar{Y}} Q_s(t) + \left[\frac{\partial f(Y)}{\partial c_{Bs}(t)} \right]_{\bar{Y}} C_{Bs}(t)$$

$$f(\bar{Y}) = 0$$

$$\left[\frac{\partial f(Y)}{\partial q_s(t)} \right]_{\bar{Y}} = \bar{c}_{Bs}$$

$$\left[\frac{\partial f(Y)}{\partial c_{Bs}(t)} \right]_{\bar{Y}} = \bar{q}_s$$

$$q_s(t)c_{Bs}(t) \cong \bar{c}_{Bs}Q_s(t) + \bar{q}_sC_{Bs}(t)$$

$$V \frac{dC_B(t)}{dt} = \bar{c}_{B2}Q_2(t) + \bar{q}_2C_{B2}(t) - \bar{c}_{Bs}Q_s(t) - \bar{q}_sC_{Bs}(t)$$

$$\frac{dC_B(t)}{dt} = \frac{\bar{c}_{B2}}{V}Q_2(t) + \frac{\bar{q}_2}{V}C_{B2}(t) - \frac{\bar{c}_{Bs}}{V}Q_s(t) - \frac{\bar{q}_s}{V}C_{Bs}(t)$$

$$K_5 = \frac{\bar{c}_{B2}}{V}$$

$$K_6 = \frac{\bar{q}_2}{V}$$

$$K_7 = \frac{\bar{c}_{Bs}}{V}$$

$$K_8 = \frac{\bar{q}_s}{V}$$

$$\frac{dC_B(t)}{dt} = K_5Q_2(t) + K_6C_{B2}(t) - K_7Q_s(t) - K_8C_{Bs}(t)$$

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación anterior y reordenando términos se obtiene:

$$\mathcal{L}\left\{\frac{dC_B(t)}{dt}\right\} = K_5\mathcal{L}\{Q_2(t)\} + K_6\mathcal{L}\{C_{B2}(t)\} - K_7\mathcal{L}\{Q_s(t)\} - K_8\mathcal{L}\{C_{Bs}(t)\}$$

$$sC_B(s) = K_5Q_2(s) + K_6C_{B2}(s) - K_7Q_s(s) - K_8C_{Bs}(s)$$

$$C_B(s) = \frac{K_5}{s}Q_2(s) + \frac{K_6}{s}C_{B2}(s) - \frac{K_7}{s}Q_s(s) - \frac{K_8}{s}C_{Bs}(s)$$

Sustituyendo los términos $Q_1(s)$ y $Q_s(s)$ en la ecuación, tenemos:

$$C_B(s) = \frac{K_5K_{v2}}{s(\tau_{v2}s + 1)}M_2(s) + \frac{K_6}{s}C_{B2}(s) - \frac{K_7K_{vs}}{s(\tau_{vs}s + 1)}M_s(s) - \frac{K_8}{s}C_{Bs}(s)$$

De donde se obtiene las funciones de transferencia individuales de:

$$\frac{C_B(s)}{M_2(s)} = \frac{K_5 K_{v2}}{s(\tau_{v2}s + 1)}$$
$$\frac{C_B(s)}{C_{B2}(s)} = \frac{K_6}{s}$$
$$\frac{C_B(s)}{M_s(s)} = -\frac{K_7 K_{vs}}{s(\tau_{vs}s + 1)}$$
$$\frac{C_B(s)}{C_{Bs}(s)} = -\frac{K_8}{s}$$

3.8 Diseño de la automatización

3.8.1 Estudio técnico preliminar

3.8.1.1 Caracterización del sistema de calderas de la CTE-II

Las calderas instaladas en la Central Térmica Esmeraldas II funcionan bajo el principio de recuperación de calor que a nivel de ingeniería y de diseño cuenta con: Bomba de alimentación, desaireador, domo de baja de presión, evaporador, economizador, evaporador de desaireación y sobrecalentador.



Ilustración 3-3: Área de calderos y chimeneas

Fuente: Termoesmeraldas, 2022.

En el diagrama P&ID de la Ilustración 3-4 podemos observar visualizar el diseño de cada una de las calderas de la CTE-II.

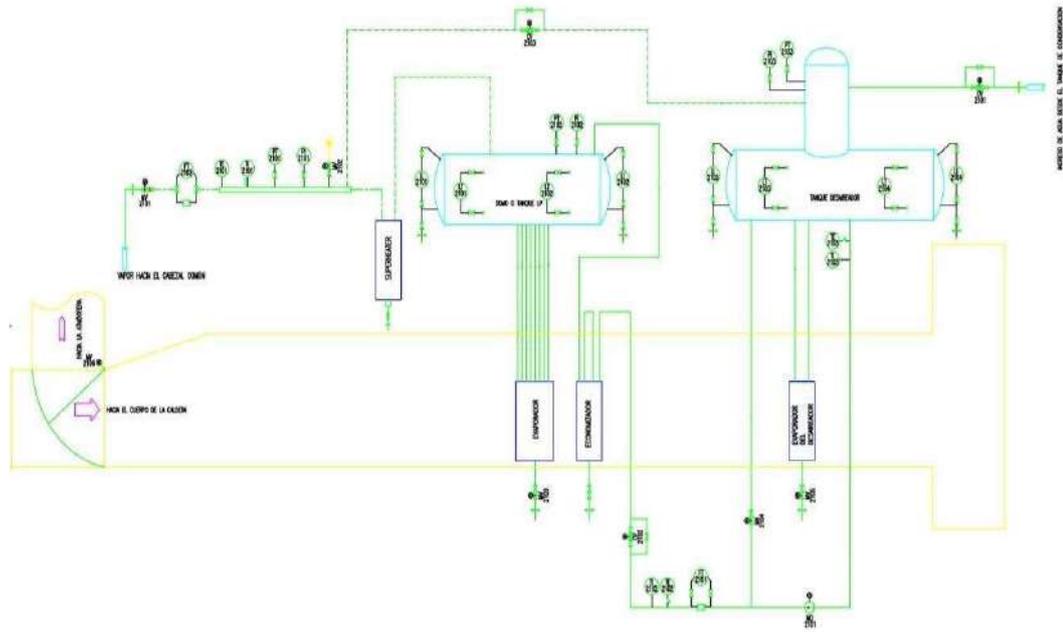


Ilustración 3-4: Diagrama P&ID de una caldera

Fuente: Gallo J., 2018, p. 19.

3.8.1.2 Elementos principales

- *Desaireador*

Es un tanque de acero inoxidable de 500 m³ de capacidad que consta de un indicador de nivel de 250 a -250 m³. Para que el sistema trabaje de forma adecuada, este tanque debe siempre tener un nivel de agua de 0 a 100 m³, es decir, su nivel debe estar lleno mínimo el 50%.

Tiene la función de eliminar el oxígeno y los no condensables disueltos en el agua de alimentación de la caldera. Este equipo utiliza parte del vapor producido o generado por la planta para ahorrar parte de los productos químicos necesarios para el sistema de dosificación.



Ilustración 3-5: Desaireador

Fuente: Termoesmeraldas, 2022.

- *Domo de baja presión*

Es un tanque de acero inoxidable de 600 m³ de capacidad que consta de un indicador de nivel de 300 a -300 m³. Al igual que el desaireador debe mantener un nivel por arriba de la mitad y además se debe controlar la presión, la cual debe ser menor a 7,5 bar.



Ilustración 3-6: Domo de baja presión

Fuente: Termoesmeraldas, 2022.

- *Chimenea principal*

Cada caldero consta de una chimenea de 30 m de altitud, las cuales en la parte inferior constan de un silenciador y en la parte superior tienen una plataforma, escaleras y pararrayos de un material aislante.

- *Evaporador*

Es un intercambiador de calor de tipo vertical en espiral con aletas de superficie y está compuesto por un grupo de tubos, los cuales están organizados de manera escalonada y divididos en 21 filas. Está compuesto por 2 cabezeras: La cabecera superior está conectada con el tambor por tubo de conexión y la cabecera inferior está conectada mediante mediate tubos más pequeños.

El bucle de circulación natural está conformado por 7 grupos de tuberías de calefacción, el tambor y la cabecera de conexión, la cual está compuesta con juntas regulares para drenaje en su parte inferior.

- *Economizador*

Es un intercambiador de calor que recupera parte del calor de combustión desprendido por una caldera, turbina o motor, permitiéndole calentar el agua de alimentación. El economizador es de tipo vertical en espiral con aletas de superficie, además el grupo de tubos están organizados de forma secuencial y se dividen en 2 filas dispuestos como un grupo.

Está compuesto por 2 cabeceras: La cabecera inferior que consta de la unión de tubo y el tubo de descarga de agua; y la cabecera superior consta del tubo de soporte de descarga de agua y el tubo de descarga de gas.

- *Evaporador de desaireación*

Es un intercambiador de calor de tipo vertical en espiral con aletas de superficie y está compuesto por el desaireador, sus equipos internos y un grupo de tubos, los cuales están organizados de manera escalonada y divididos en 3 filas dispuestos como un grupo.

Está compuesto por 2 cabeceras: La cabecera inferior está conectada y equipada con juntas regulables para drenaje y la cabecera superior está conectada con el desaireador por un tubo de conexión.

- *Sobrecalentador*

Es un intercambiador de calor que tiene la función de aumentar la temperatura del vapor y, además es de tipo vertical en espiral con aletas de superficie donde el grupo de tubos están organizados de forma secuencial.

Está compuesto por 2 cabeceras: En la parte superior, el colector de salida de los gases está conformado con tubos soportes para las válvulas de seguridad y la parte inferior está conformada con juntas de drenaje.

3.8.1.3 *Especificaciones técnicas*

La Central Térmica Esmeraldas II (CTE-II) cuenta con 12 calderas de recuperación de calor, gracias a la conducción de los gases de combustión que permiten recuperar el calor latente de los gases para transferir calor a las calderas, las cuales presentan las siguientes características técnicas:

Tabla 3-8: Datos técnicos de las calderas de la CTE-II

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
TIPO DE CALDERA	Q/50. 1/320-4-0. 7/240
CLASE	Acuotubular
SALIDA ESPECIFICA DE VAPOR	4 toneladas por hora
TEMPERATURA ESPECIFICA DE VAPOR	240°C
FABRICANTE	Harbin Hongguang Boile Co., Ltd.
CATEGORÍA DE LA LICENCIA DE FABRICACIÓN	Clase A
PRESIÓN DE TRABAJO	0.7 Mpa
DISEÑADOR	Instituto de Investigación No.703 CSIC
GENERACIÓN	De recuperación de vapor

Fuente: Termoesmeraldas, 2023.

Realizado por: Salamea J., 2023.

3.8.2 *Normativa aplicada*

Durante el desarrollo del proyecto, se tomaron en cuenta ciertas de normativas para los parámetros (pH y oxígeno disuelto) que el sistema automático de dosificación de químicos debe controlar, entre estas tenemos:

- ASME CRTD- Vol. 34: 1998 “Consensus on Operating Practices for the Control of Feedwater and Boiler Water Quality in Modern Industrial Boilers”.
- ABMA-BOILER 402: 2012 “Boiler Water Quality Requirements and Associated Steam Quality for Industrial/Commercial and Institutional Boilers”.
- IS 10392:1982 “Feed water and boiler water for low and medium pressure boilers”.
- BS 2486:1997 “Recommendations for treatment of water for steam boilers and water heaters”.

No obstante, estas normas son de carácter general por lo que los parámetros de control pueden variar para cada sistema de calderas para ello se recomienda revisar el manual dado por el fabricante de la caldera.

Para la elaboración del diagrama P&ID del proceso automático de dosificación de químicos se tomó en consideración las siguientes normas:

- ISO 10628 “Flow diagrams for process plants”.
- ANSI/ISA-S5.1 “Instrumentation symbols and identification”.
- ANSI/ISA-S5.2 “Binary Logic Diagrams for Process Operations”.
- ISA-S5.3 “Graphic symbols for distributed control/shared display instrumentation, logic and computer system”.
- ANSI/ISA-S5.4 “Instrument loop diagrams”.
- ANSI/ISA-S5.5 “Graphic symbols for process displays”.

3.8.3 *Proceso de automatización*

De acuerdo con el estudio realizado por (Andrade López, 2005, pp. 27-40), los sistemas de dosificación química garantizan que las calderas de vapor funcionen dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa vigentes a fin de evitar problemas como la corrosión e incrustación. Las calderas de vapor son equipos que emplean algún tipo de combustible para calentar el agua y generar el vapor necesario para la generación de energía o el funcionamiento de una instalación.

Por otro lado, según los resultados del estudio de (Arachchige y Sandupama, 2019, pp. 635-636), cuando las tuberías de transporte de agua son dañadas por problemas como la corrosión o la incrustación, estas tienden a deteriorarse y disminuir su eficiencia operativa y vida útil; por tanto, los sistemas de dosificación química inyectan diferentes productos químicos como aminas, fosfatos, amoniacos y secuestrantes de oxígeno con el propósito de obtener un tratamiento químico adecuado para modificar el pH, la conductividad y el oxígeno disuelto a los valores idóneos para prevenir la corrosión e incrustación.

Generalmente, estos sistemas en calderas están compuestos por elementos como bombas de trasvase, depósitos, cuadros de control y bombas dosificadoras, así como de equipos auxiliares como válvulas de seguridad y de corte (Hall, 2012, pp. 166-181).

Estos sistemas se pueden automatizar mediante la inclusión de PLCs programables que ejecuten las funciones de arranque/paro de bombas acorde a las señales recibidas del proceso y de la instrumentación empleada como pueden ser los transmisores de nivel y caudalímetros.

Para la automatización de sistemas de dosificación de químicos para calderas industriales, una parte fundamental es la programación del PLC y las pantallas táctiles HMI en base a las necesidades de la operación y el proceso, para este trabajo se emplearán los PLC Allen Bradley y Siemens de la CTE-II y el bus de campo Modbus TCP y DeviceNet para las comunicaciones con

actuadores, bombas, instrumentación, módulos E/S, PLCs esclavos, servomotores y variadores de frecuencia.

A continuación, se muestra los pasos para realizar el proceso de automatización del sistema de dosificación química de las calderas de la CTE-II:

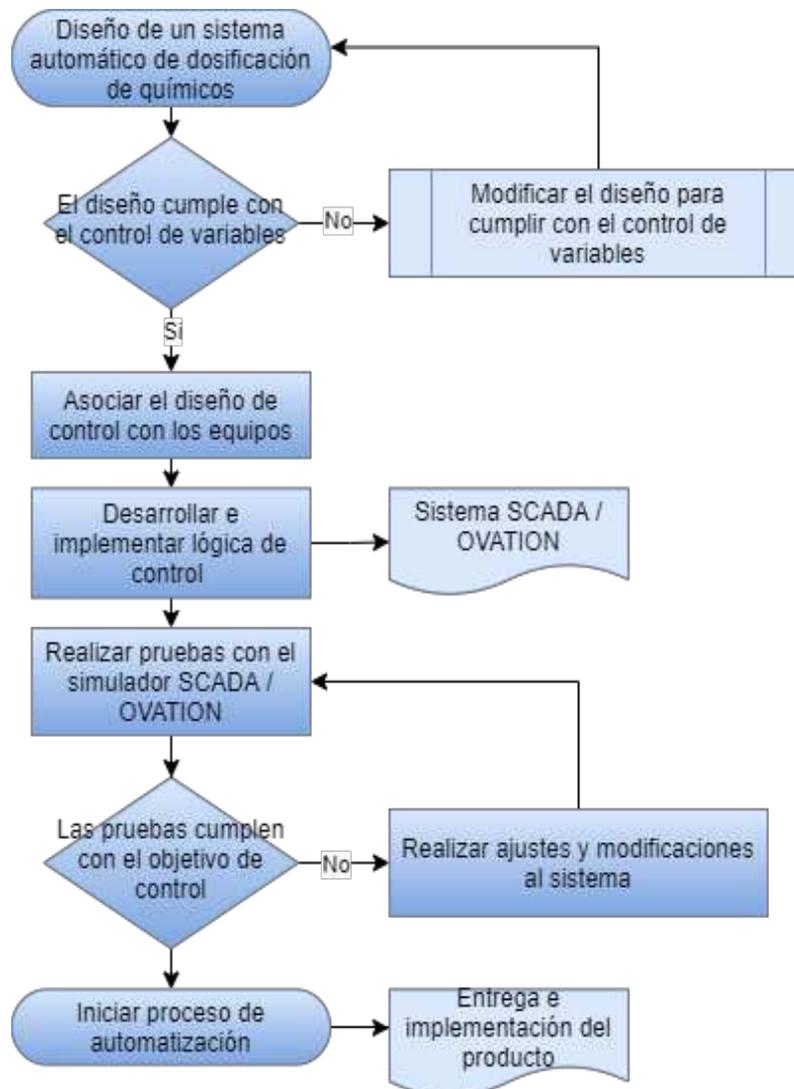


Ilustración 3-7: Diagrama de flujo del proceso de automatización

Realizado por: Salamea J., 2023.

3.8.4 Compatibilidad química de los materiales y fluidos

Cada material tiene cierto grado de fragilidad durante su transporte, instalación y tiempo de funcionamiento. Algunas tuberías son más resistentes a la corrosión que otras en un ambiente determinado dependiendo del material del cual están fabricadas, es decir, mientras el material sea menos reactivo con su medio tendrá más resistencia a la corrosión.

Seleccionar materiales inadecuados en un sistema de tuberías puede causar graves problemas en la calidad y eficiencia del proceso de dosificación y a su vez generar gastos para las empresas.

Además, la selección de los materiales no solo depende de sus características sino también de los costos en revestimiento o reemplazo de los materiales y en las operaciones de limpieza de los mismos.

A continuación, se muestra una lista de compatibilidades de los materiales más utilizados en la construcción de sistemas de dosificación de químicos para cada uno de los químicos empleados en el tratamiento del agua de alimentación de las calderas de la CTE-II.

Tabla 3-9: Compatibilidad de materiales con la morfolina

Material	Compatibilidad
CPVC	D-Efecto severo
PP	B-Buena
PTFE	A-Excelente
PVC	D-Efecto severo
PVDF	B-Buena
SS304	A-Excelente
SS316	A-Excelente
EPDM	D- Efecto severo
FKM	C- Efecto moderado
Acero al carbono	A-Excelente

Fuente: PROINDECSA, 2018.

Tabla 3-10: Compatibilidad de materiales con el sulfito de sodio

Material	Compatibilidad
CPVC	A-Excelente
PP	A-Excelente
PTFE	A-Excelente
PVC	A-Excelente
PVDF	A-Excelente
SS304	B-Buena
SS316	A-Excelente
EPDM	A-Excelente
FKM	A-Excelente

Fuente: PROINDECSA, 2018.

3.8.5 Prototipo del skid de dosificación

El skid de dosificación para cada uno de los químicos está compuesto por un reservorio de acero inoxidable con una capacidad de 1200 L para la retención de los químicos, bombas dosificadoras de químicos, instrumentos de medición y un panel de control que incluye un PLC Allen Bradley RSLogix 5000, que se encarga de controlar el funcionamiento de los componentes asociados al sistema.

La representación de la estructura del skid de dosificación de químicos y los equipos relacionados al mismo se visualizan en la Ilustración 3-8:

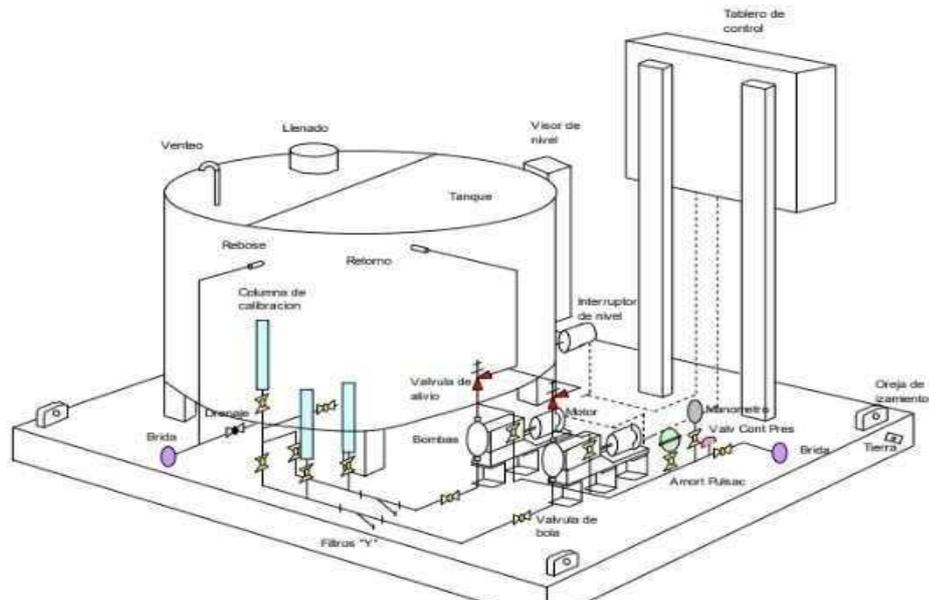


Ilustración 3-8: Esquema básico de un skid de dosificación de químicos

Fuente: Ortega I.; & Quintero M., 2022.

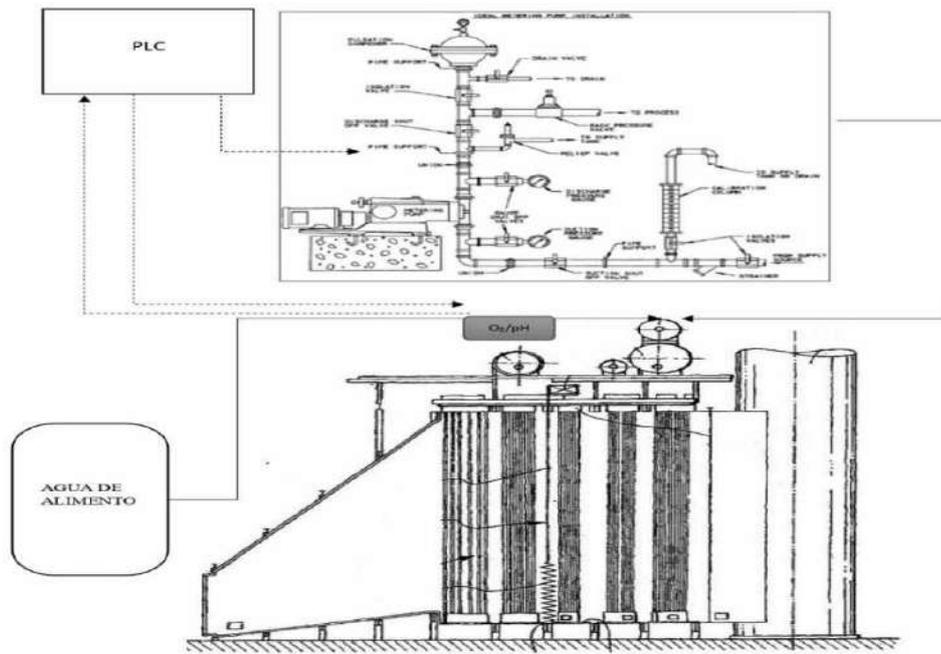


Ilustración 3-9: Línea de dosificación a la caldera y lazo de control

Fuente: Termoesmeraldas, 2023.

Realizado por: Salamea J., 2023.

3.8.6 Simulación del sistema de dosificación de químicos

La simulación del sistema de dosificación se ejecutará en el Control Builder del Sistema Ovation 3.7, donde se implementará cada una de las lógicas de control necesarias y se asignarán los puntos y direccionamientos de las mismas. Al finalizar este proceso, se realiza la validación y carga de información a las estaciones operativas que forman parte del sistema.

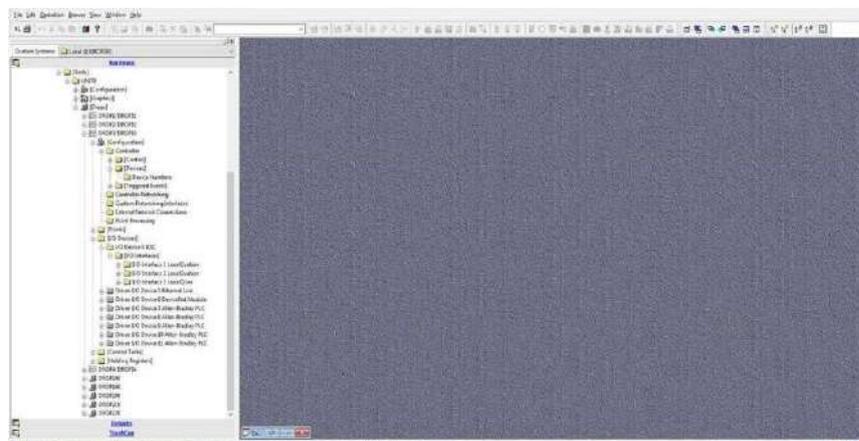


Ilustración 3-10: Ovation Control Builder

Realizado por: Salamea J., 2023.

En la Ilustración 3-11 se muestra la lógica de control para la operación de la bomba de dosificación, donde se emplearán las entradas y salidas digitales para el comando de arranque y paro de la bomba mientras que las señales análogas que son enviadas desde el campo se emplearán para el control automático.

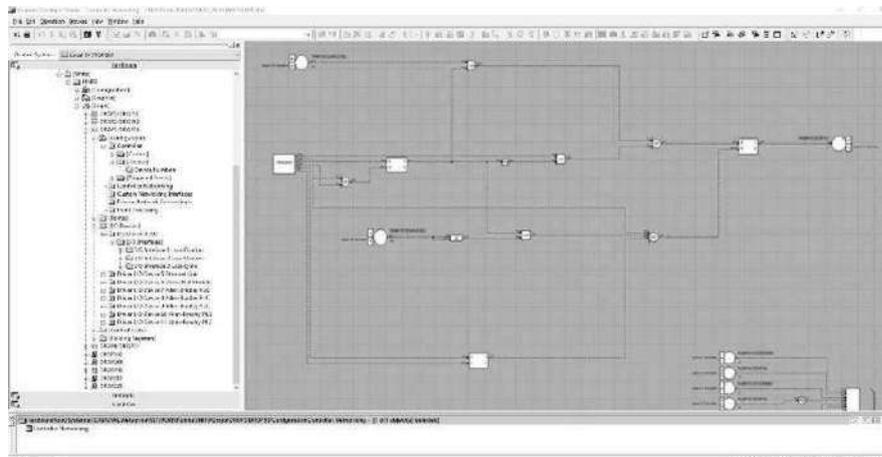


Ilustración 3-11: Lógica de control de la bomba de dosificación

Realizado por: Salamea J., 2023.

En el sistema Ovation, se pueden crear las entradas digitales dándole la asignación deseada y el tipo de control sobre un equipo mediante un algoritmo de control conocido como Keyboard, donde se emplearán las compuertas lógicas como and, or, set reset para el funcionamiento adecuado del control de la bomba.

La Ilustración 3-12 muestra el icono del algoritmo de control Keyboard, el cual permite operador seleccionar el tipo de operación a ejecutar sobre la bomba sea de modo manual o que funcione en automático.

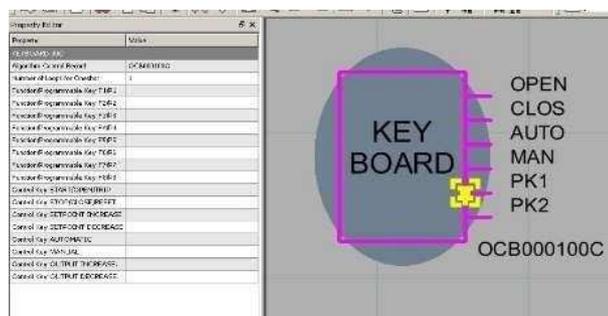


Ilustración 3-12: Algoritmo Keyboard

Realizado por: Salamea J., 2023.

En la Ilustración 3-13 se muestra las señales digitales y análogas de entrada y salida más usadas en el sistema de control Ovation para la creación de lógicas de control.



Ilustración 3-13: Entradas y salidas del sistema Ovation

Realizado por: Salamea J., 2023.

En la Ilustración 3-14 observamos un PID agrupado a un Mastation. Estos algoritmos juntos efectúan la función de control de lazo cerrado, donde el PID lleva cabo el cálculo matemático de corrección del error, el Mamode realiza el control automático sobre la modalidad de funcionamiento del PID y el Mastation cumple la función de cambiar la modalidad en manual o auto.

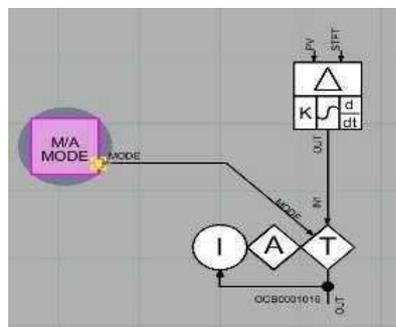


Ilustración 3-14: PID

Realizado por: Salamea J., 2023.

En la Ilustración 3-15 observamos al algoritmo de control 2XSEL, el cual tiene la función de sacar el promedio de dos valores y detectar cuando estos valores de entrada se desvían entre sí.

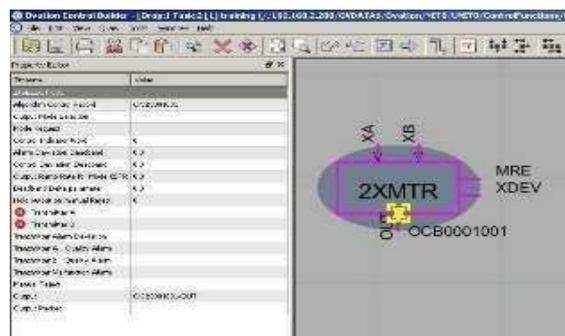


Ilustración 3-15: Algoritmo 2XSEL

Realizado por: Salamea J., 2023.

En la Ilustración 3-16 observamos la lógica de control de nivel del reservorio utilizada para el control automático de la bomba e integrada con un transmisor de nivel. La lógica de control está conformada por un algoritmo de control, un controlador PID, salidas internas para la asignación de alarmas por bajo y alto nivel; y entradas análogas para evitar oscilaciones en el control.

Este control se asocia al keyboard de la bomba para su automatización y el algoritmo de control será un 2XSEL, el cual nos permitirá mantener en control todo el tiempo el nivel.

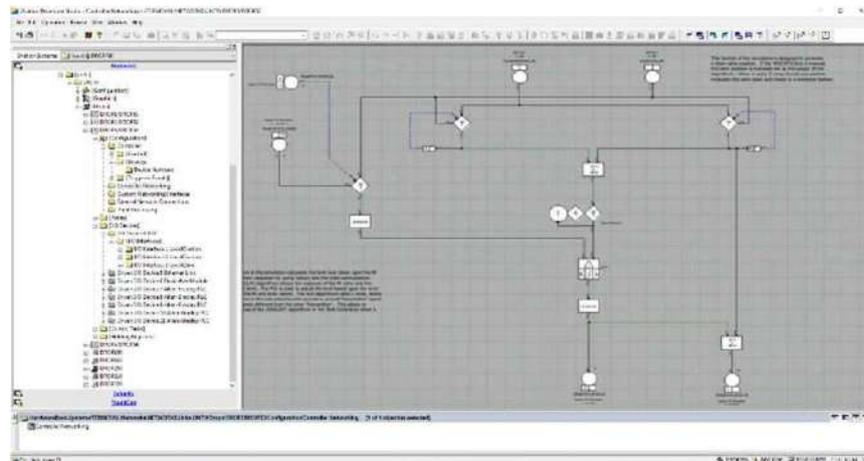


Ilustración 3-16: Lógica de control de nivel del reservorio

Realizado por: Salamea J., 2023.

En la Ilustración 3-17 observamos el proceso de simulación de las señales de campo de los indicadores de pH y O₂ para demostrar el funcionamiento y realizar la asignación de una dirección de control y de los puntos de supervisión en el gráfico para la visualización en la sala de control.

Para realizar esta simulación se utilizó un algoritmo de control llamado TRANSFER, el cual es un switch para señales analógicas, donde:

- Cuando FLAG = 1, OUT = Input YES
- Cuando FLAG = 0, OUT = Input NO

Mediante estas condiciones podemos introducir las señales deseadas a fin de analizar su perturbación en la lógica de control diseñada.

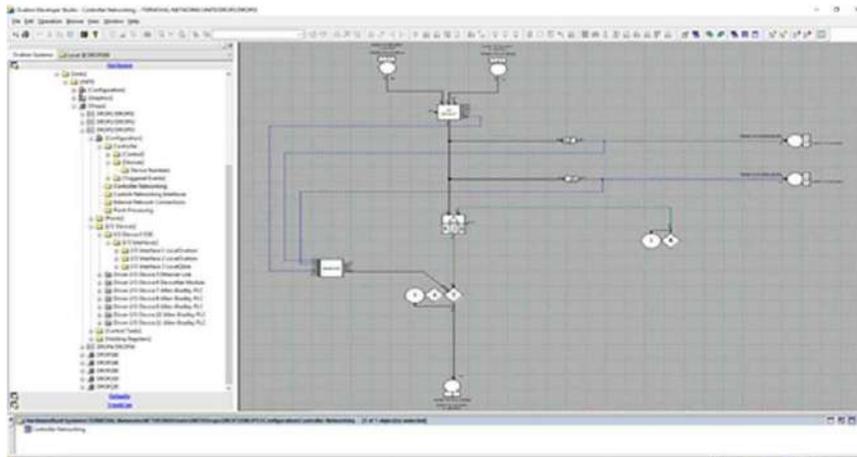


Ilustración 3-17: Lógica para la simulación del proceso de operación de los indicadores de pH y O₂

Realizado por: Salamea J., 2023.

En la Ilustración 3-18 se observa el funcionamiento del sistema de dosificación desde la interfaz gráfica, donde el operador de la sala control podrá dar los comandos de arranque y parada a las bombas según lo requiera el proceso.



Ilustración 3-18: Interfaz gráfica del sistema de dosificación de químicos

Realizado por: Salamea J., 2023.

3.8.7 *Materiales y herramientas involucrados en el diseño final*

Una vez establecido el diseño final del sistema de dosificación química, se seleccionó algunos componentes necesarios para la implementación del sistema que se detallan a continuación:

Tabla 3-11: Materiales y herramientas para el diseño del sistema

Cantidad	Descripción
2	Bombas centrifugas para llenado de los depósitos
2	Sensores de flujo con ruedas de paletas
8	Válvulas solenoide de control automático
8	Bombas de dosificación química
2	Indicadores de nivel de control
221	Metros de cable de comunicación multifilar (respaldo)
200	Metros de cable de poder para alimentación x3
20	Metros de soportaría de 25x10 para tendido de comunicación y control
6	Transmisores de nivel enlazable a un DCS
12	Comando de start/stop local
4	Manómetro de 0 a 100 psi de ½ pulgada
1	Máquina de soldar 480V
5	Kilos de soldadura 7013
10	Discos de pulir
25	Discos de corte
2	Pulidoras
120	mt de cables de control 2x16 mm + shield
30	mt de cable de potencia 3x8 mm+ tierra de 600 vol
2	Agitadores automáticos 440V axial positivo con paleta de revestimiento resistente
4	Amortiguador de pulsaciones
1	Columna de calibración de 1000 ml
1	Columna de calibración de 500 ml
2	Columnas de calibración de 100 ml
4	Válvulas de contrapresión de ½ pulgada
8	Válvulas de alivio de ½ pulgada
12	Válvulas check de ½ pulgada
2	Válvulas check de 1 ¼ pulgada
2	Válvulas check de 2 pulgadas
4	Filtros Y de ½ pulgada
60	Válvulas de diafragma de ½ pulgada
2	Válvulas de diafragma de 1 ¼ pulgada
4	Válvulas de diafragma de 2 pulgadas

100	Metros de tubería de ½ pulgada acero al carbono
35	Metros de tubería de 1 ¼ pulgada acero al carbono
30	Metros de tubería de 2 pulgadas acero al carbono
8	Codos a 90° de 2 pulgadas
4	Codos a 90° de 1 ¼ pulgada
35	Codo a 90° de ½ pulgada
2	Bridas soldadas de ½ pulgada

Realizado por: Salamea J., 2023.

CAPÍTULO IV

4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADO

4.1 Diseño propuesto

Cada químico tendrá un sistema de dosificación independiente, aunque todos estarán montados en el mismo skid de dosificación sobre una losa de hormigón. Los requerimientos de los operadores de las calderas de la Central Térmica Esmeraldas II, la normativa nacional e internacional vigente, los criterios técnicos y de calidad se tomaron como base para el diseño de los equipos que componen cada subsistema.

Las cantidades de cada químico a dosificar se calculó en conjunto con el personal del área de control químico de la Central Térmica Esmeraldas II, lo que nos permite calcular el caudal de las bombas dosificadoras y, en base a este dato, calcular el tamaño de las líneas, asegurándose de no sobrepase los 2 m/s, y también, el volumen de los depósitos en base de la autonomía solicitada por la empresa.

Este último dato también nos ayuda a calcular el caudal de la bomba de llenado en función de que en menos de 1 hora los depósitos se llenen. Hay dos tipos de diseño dentro del sistema:

- La amina neutralizante (morfolina), dispondrá de 2 depósitos con una capacidad de 1200 L cada uno con 2 bombas dosificadoras con caudales de 53,8 l/h y 26,7 l/h; y una bomba centrífuga de llenado para cada depósito. Además, cada uno estará instalado en su propio skid de dosificación con las bombas de llenado en un mismo armario.
- El sulfito de sodio, dispondrá de 2 depósitos comercial de tipo IBC (cada IBC tiene su cubeto de contención de 1000 L de volumen) con capacidad de 1000 L cada uno con 2 bombas dosificadoras con caudales de 2,05 l/h y 1,7 l/h; y sin bomba de llenado. También, los dos subsistemas están instalados en el mismo armario de dosificación.

4.2 Características y dimensionamiento de los subsistemas

4.2.1 *Subsistema de dosificación de morfolina*

Este subsistema tiene que dosificar el químico a 2 lugares distintos:

- Tanque de condensado 1
- Tanque de condensado 2

El subsistema está conformado por los siguientes componentes para ejecutar su propósito:

- Dos depósitos de almacenamiento.
- Dos bombas de llenado.
- Dos armarios de dosificación que cada uno incluye: una bomba dosificadora, una bomba dosificadora en reserva, instrumentación asociada, tuberías y accesorios

Cada uno de los depósitos de almacenamiento incluye las siguientes características:

- Depósito cilíndrico vertical.
- Venteo.
- Drenaje.
- Rebose (línea en común con el drenaje).
- Conexión para transmisor de presión (utilizado como transmisor de nivel).
- Boca de hombre.
- Entrada de químico.
- Salida de químico hacia las bombas.
- Retorno de la columna de calibración.
- Orejetas y placas de anclaje.
- Indicador de nivel tipo boya.
- Retorno de las válvulas de seguridad (PSV).

Las dimensiones de los depósitos de almacenamiento de la morfolina son de 1000x1600 mm (diámetro x altura).

4.2.2 *Subsistema de dosificación de sulfito de sodio*

Este subsistema tiene que dosificar el químico a 2 lugares distintos:

- Tanque de condensado 1
- Tanque de condensado 2

El subsistema está conformado por los siguientes componentes para ejecutar su propósito:

- Dos depósitos comerciales tipo IBC con cubeto de contención.
- Un armario de dosificación que incluye: una bomba dosificadora para el tanque de condensado 1, una bomba dosificadora para el tanque de condensado 2, dos bombas a dosificadora en reserva, instrumentación asociada, tuberías y accesorios

Los depósitos comerciales de tipo IBC, con medidas estándar de alto 1170 mm y base 1000 x 1200 mm, irán ubicados sobre unos cubetos de retención fabricados en polietileno.

Los cubetos de retención en caso de un drenaje o fuga tienen el propósito de contener el químico al tener un volumen más o menos igual del depósito.

4.3 Instrumentación implementada en el diseño de automatización

4.3.1 Sonda de pH y transmisor

El transmisor de agua M800 bicanal es un transmisor multiparamétrico que otorga mediciones de alta fiabilidad y rendimiento mediante una pantalla táctil a color y tiene la posibilidad incorporar una diversa variedad de sensores ISM y analógicos (METTLER TOLEDO, 2020, párr. 1).

El M800 cuenta con una disposición de menús organizada para facilitar su utilización, además tiene dos niveles de seguridad que el usuario puede seleccionar, los cuales son para prohibir el acceso a los menús y el otro a las funciones sensibles garantizando así la seguridad del proceso (METTLER TOLEDO, 2020, párr. 3).

Por otro lado, el equipo consta del diagnóstico predictivo ISM para cada uno de sus sensores, lo que facilita el mantenimiento y a prolongar la vida útil de los sensores (METTLER TOLEDO, 2020, párr. 5).

Los sensores de pH en línea son instrumentos analíticos diseñados para la medición continua del pH en procesos industriales (METTLER TOLEDO, 2018, párr. 1).



Ilustración 4-1: pHmetro online

Fuente: METTLER TOLEDO, 2020.



Ilustración 4-2: Electrodo de pH

Fuente: METTLER TOLEDO, 2020.

A continuación, se muestran algunas de las características y datos técnicos de los equipos:

Tabla 4-1: Especificaciones Transmisor M800 Water 2-CH

Parámetro (s)	Conductividad, pH, TOC, ORP, flujo
Salida/s de corriente	8 x 0/4-20 mA
Contacto(s) de relé	8
Controlador PID	2
Clasificación de protección	IP66
Talla	½ DIN
Entradas analógicas	1
Interfaz de usuario	Pantalla táctil a color de 5,7"
Modo cableado	4 hilos
Canales	2
Fuente de alimentación	100 V a 240 V CA o 20 a 30 V CC, 10 VA
Entradas digitales	5
Familia de modelos	M800 Water
Tipo de sensor	ISM
Interfaz USB	Sí
Material de la carcasa (3)	Policarbonato
Medio/Aplicación principal	Agua para semiconductores, aguas farmacéuticas, procesos químicos, aguas

	residuales, agua/vapor de centrales eléctricas
--	--

Fuente: METTLER TOLEDO, 2020.

Tabla 4-2: Especificaciones Electrodo pH Pure Water pHure LE

Conexión de proceso	Entrada / salida ¼" NPT(F)
Temperatura de funcionamiento (Celsius)	0 °C - 100 °C
Coefficiente de flujo de muestra	De 50 a 150 ml/min
Muestra Conductividad> (µS/cm)	0,3
Electrolito recargable	9823 3M KCl
Rango de pH	1 – 12
Esterilizable / Apto para autoclave	No
Longitud del sensor	120 mm
Conector de cable	AK9
Presión de funcionamiento (bar)	0-7 barg a 100 °C
Familia de modelos	pHure
Tecnología de detección de pH	Membrana de vidrio esterilizable por vapor (A41)
Sistema de referencia	3M KCl
Sensor de temperatura	Digital
ISM (digital) o analógico	ISM (digital)
Parámetro de medición	pH ORP/Redox
Medio/Aplicación principal	Otros procesos con agua Agua para semiconductores Agua/vapor de centrales eléctricas
Material del eje	Vidrio
Solución a tierra / metal Redox	Platino

Fuente: METTLER TOLEDO, 2018.

Además, las dimensiones del transmisor y sensor de pH son las siguientes:

4.3.2 Medidor de oxígeno disuelto en línea

Los sensores electroquímicos tradicionales presentan un nivel de deriva importante en solo unos meses, por lo que requieren tareas de calibración periódicas y bastante mano de obra; debido a su tecnología luminiscente, el sensor Orbisphere K1100 está diseñado para que la deriva sea mínima, lo que lo convierte en el sensor más estable y con el mayor intervalo de calibración del sector (Hach Lange, 2014, párr.22).



Ilustración 4-5: Medidor de oxígeno online

Fuente: Hach Lange, 2014.

A continuación, se muestran algunas de las características y datos técnicos del equipo:

Tabla 4-3: Especificaciones Orbisphere K1100

Controlador Orbisphere	
Dimensiones (A x A x P)	Dimensiones de montaje en pared (tubo): 230,5 x 250 x 160 mm Dimensiones de montaje en panel: 156 x 220 x 253,5 mm
Energía	Universal 100/240 VCA a 50-60 Hz, 25 VA 10-36 VCC, 25 W
Carcasa	Montaje en pared (tubo): acero inoxidable Montaje en panel: aluminio
Protección de la carcasa (IP)	Montaje en pared (tubo): IP65, NEMA 4x Montaje en panel: IP65
Pantalla	Pantalla táctil TFT a color
Salidas analógicas	3 inteligentes, 0/4 - 20 mA (500 ohmios), programables como lineales o trilineales,

	configurables para enviar información de diagnóstico
Relés	3 relés de alarma de medición (2 A a 30 V CA o 0,5 A a 50 V CC), configurables para enviar información de diagnóstico 1 relé de alarma de sistema (2 A a 30 V CA o 0,5 A a 50 V CC)
Comunicación	RS485, Profibus DP (opcional), Ethernet, USB cliente para descargar datos de un ordenador, USB host para descargar datos con una memoria USB
Almacenamiento de datos	Registro circular o modo para almacenar una vez hasta 1000 mediciones y 1000 tareas de operador. Conserva los registros de calibración de las 50 últimas calibraciones
Interfaz de usuario	Información de la pantalla táctil: concentración, gráfico de tendencias, diagnóstico, estado de alarmas e historial de datos
K1100 (sensor de rango bajo)	
Rango de medición	0-2000 ppb O ₂ disuelto (OD) (valores indicativos hasta 5000 ppb)
Rango de temperatura	Exacto desde -5 a 50 °C Resistente a temperaturas de -5 a 100 °C
Repetibilidad	± 0,4 ppb o 1 % , lo que sea mayor
Reproducibilidad	± 0,8 ppb o 2 % , lo que sea mayor
Exactitud	± 0,8 ppb o 2 % , lo que sea mayor
Límite de detección	0,6 ppb
Tiempo de respuesta	(90 %) <10 s (fase gaseosa); <30 s (fase líquida)
Presión de muestra	1 - 20 bar absoluta

Fuente: HACH, 2017.

Además, las dimensiones del transmisor y sensor de oxígeno disuelto (mm) son las siguientes:

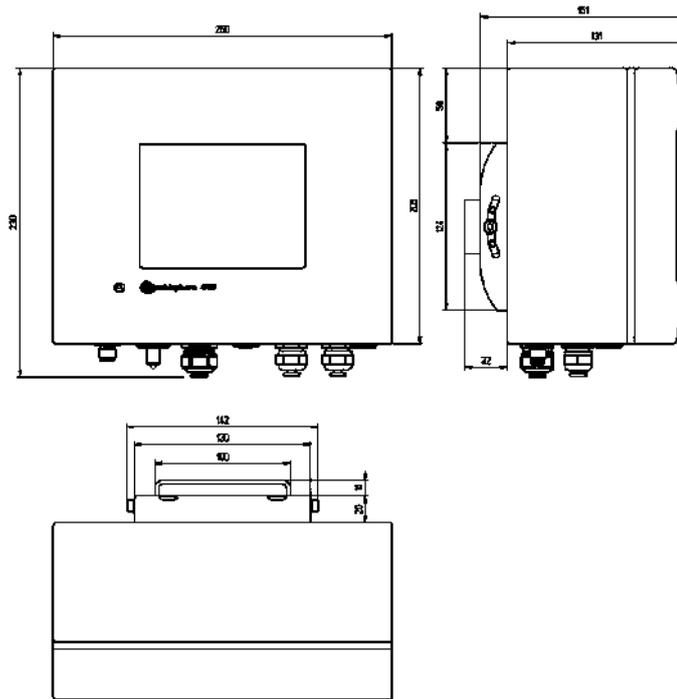


Ilustración 4-6: Dimensiones del transmisor de O₂

Fuente: HACH, 2017.

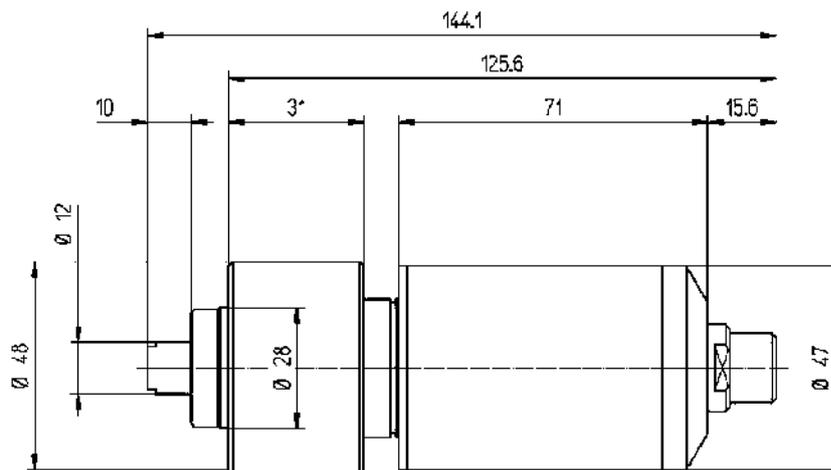


Ilustración 4-7: Dimensiones del sensor de O₂

Fuente: HACH, 2017.

4.3.3 Bomba para dosificar químicos

Las bombas dosificadoras de tipo membrana cumple la función de inyectar los químicos (morfolina y sulfito de sodio) a los tanques de tratamiento del agua que se suministra al sistema de calderas.

El control del caudal de las bombas se puede realizar de dos maneras ya sea mediante una señal de 4-20 mA equivalente al caudal o de manera manual en el display de la propia bomba.

Para la selección del modelo de las bombas se tomó en cuenta los siguientes caudales de diseño:

Tabla 4-4: Caudales de diseño para las bombas dosificadoras de químico

Químico	Punto de dosificación	Caudal	
		Operación	Diseño
Morfolina	Tanque de condensado 1	53,8 l/h	150 l/h
Sulfito de sodio		2,05 l/h	7,5 l/h
Morfolina	Tanque de condensado 2	26,7 l/h	150 l/h
Sulfito de sodio		1,7 l/h	7,5 l/h

Realizado por: Salamea J., 2023.

A continuación, se muestran algunas de las características y datos técnicos de la bomba dosificadora de morfolina para los 2 puntos de dosificación:



Ilustración 4-8: Bomba dosificadora de morfolina

Fuente: Grundfos, 2019.

Tabla 4-5: Especificaciones Grundfos Dosing Pump DDI 222 150-4

Tipo	Membrana con motor de paso a paso interno, autocebante
Capacidad máxima	150 l/h
Elevación de succión máxima	3,0 m en operación normal

	1,0 en puesta en marcha
Viscosidad permitida (funcionamiento normal) máxima	100 mPas
Temperatura máxima permitida del medio de dosificación (p < 10 bar)	PVC, PP: 0 a 40 °C Acero inoxidable: -10 a 70 °C PVDF: -10 a 60 °C
Fuente de alimentación	110-240 VAC, 50/60 Hz
Consumo de energía	70 W
Señal de entrada	Parada externa, pulso, analógica 0/4-20 mA, nivel bajo/tanque vacío. Opcional: Monitor de flujo, Profibus, Detección de fugas de diafragma
Señal de salida	Analógica 0/4-20 mA, 2 salidas de relé, con señal seleccionable
Protección	IP 65
Temperatura ambiente permitida	0 a 40 °C
Temperatura de almacenamiento permitida	-10 a 50 °C
Humedad relativa máxima	92%
Peso	6,5 kg cabezal dosificador: PVC, PVDF, PP 12,0 kg cabezal dosificador: acero inoxidable
Presión máxima (funcionamiento normal)	4,0 bar
Relación de reducción	1:800
Capacidad mínima	0,188 l/h

Fuente: Grundfos, 2019.

Además, las dimensiones de la bomba dosificadora de morfina son las siguientes:

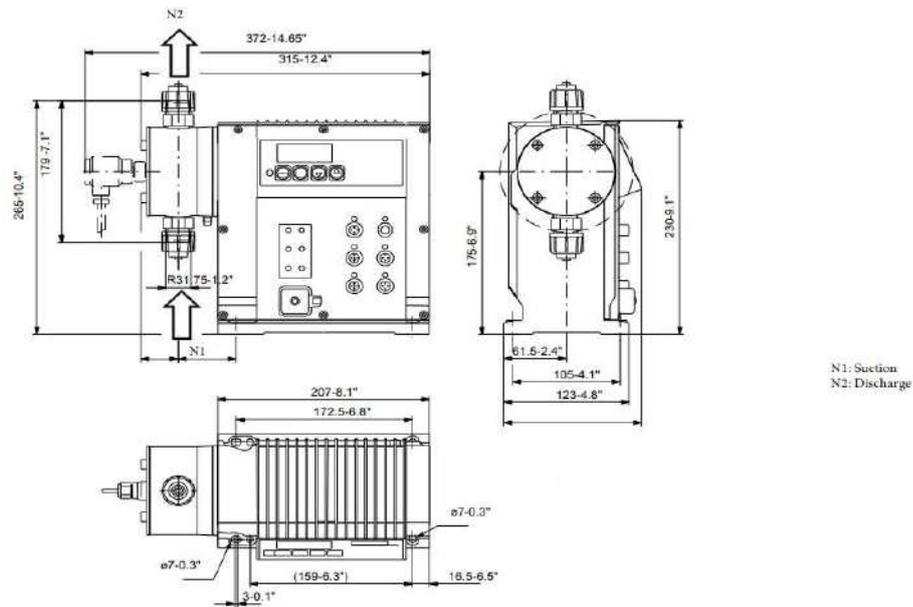


Ilustración 4-9: Dimensiones de bomba dosificadora de morfina

Fuente: Grundfos, 2019.

Por otro lado, se muestran algunas de las características y datos técnicos de la bomba dosificadora de sulfito de sodio para los 2 puntos de dosificación:



Ilustración 4-10: Bomba dosificadora de sulfito de sodio

Fuente: Grundfos, 2019.

Tabla 4-6: Especificaciones Grundfos Dosing Pump DDA 7.5- 16 FC

Tipo	Membrana con motor de paso a paso interno, autocebante
Capacidad máxima	7,5 l/h
Capacidad mínima	0,0025 l/h

Relación de reducción	1:3000
Presión máxima	16 bar
Peso	2,4 kg cabezal dosificador: PVC, PVDF, PP 3,2 kg cabezal dosificador: acero inoxidable
Protección	IP65, Nema 4X
Fuente de alimentación	110-240 V, 50/60 Hz
Elevación de succión máxima	6,0 m en operación normal
Temperatura ambiente Mín. /Máx.	0/45 °C
Temperatura del líquido Mín. /Máx.	-10/45 °C
Señal de entrada	Señal de entrada Parada externa, pulso, analógica 0/4-20 mA, nivel bajo/tanque vacío. Opcional: Monitor de flujo, Profibus, Detección de fugas de diafragma
Señal de salida	Analógica 0/4-20 mA, 2 salidas de relé, con señal seleccionable

Fuente: Grundfos, 2019.

Además, las dimensiones de la bomba dosificadora de sulfito de sodio son las siguientes:

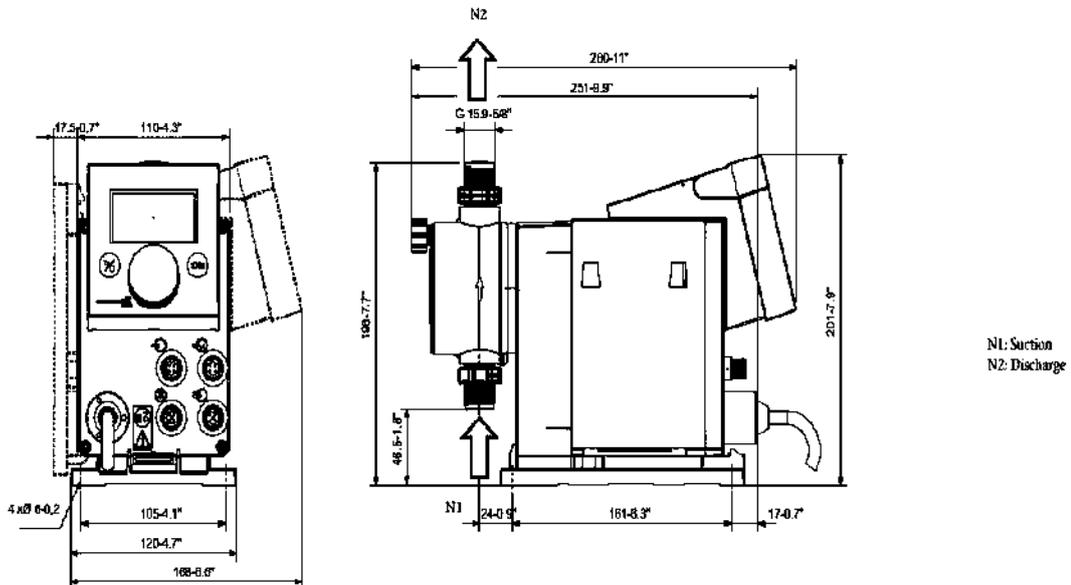


Ilustración 4-11: Dimensiones de bomba dosificadora de sulfito de sodio

Fuente: Grundfos, 2019.

4.3.4 Bomba de llenado

Esta bomba de tipo centrífuga con acoplamiento magnético se encarga del trasvase del químico (morfolina) a los depósitos de almacenamiento de los sistemas de dosificación.

Este equipo va acompañado de un sensor de ausencia de flujo debido a que no debe funcionar en vacío (sin fluido) y el sensor cumple la función de comunicar cuando ocurra dicha incidencia. No dispone de señal de control por lo que se operará en modo local.



Ilustración 4-12: Bomba de llenado

Fuente: FTI, 2023.

A continuación, se muestran algunas de las características y datos técnicos del equipo:

Tabla 4-7: Especificaciones Bomba Serie DB11

Tipos de conexión	NPT, BSP, brida o unión
Gravedad específica máxima	más de 1,8
Presión máxima de trabajo	90 psi (6,2 bares)
Fuente de alimentación	110-460 V, 60 Hz
Fases	3
Rango de flujo	0,9 a 26,8 m ³ /h a 2900 RPM 4 a 116 gpm a 3450 RPM
Configuración	Horizontal
Materiales de construcción	Polipropileno o PVDF
Temperatura máxima	82°C (180°F) Polipropileno 220°F (104°C) PVDF
Rango de poder	0,28 a 1,74 hp a 2900 RPM

0.37 a 1.38 kW a 3450 RPM

Fuente: FTI, 2023.

Además, las dimensiones de la bomba de llenado son las siguientes:

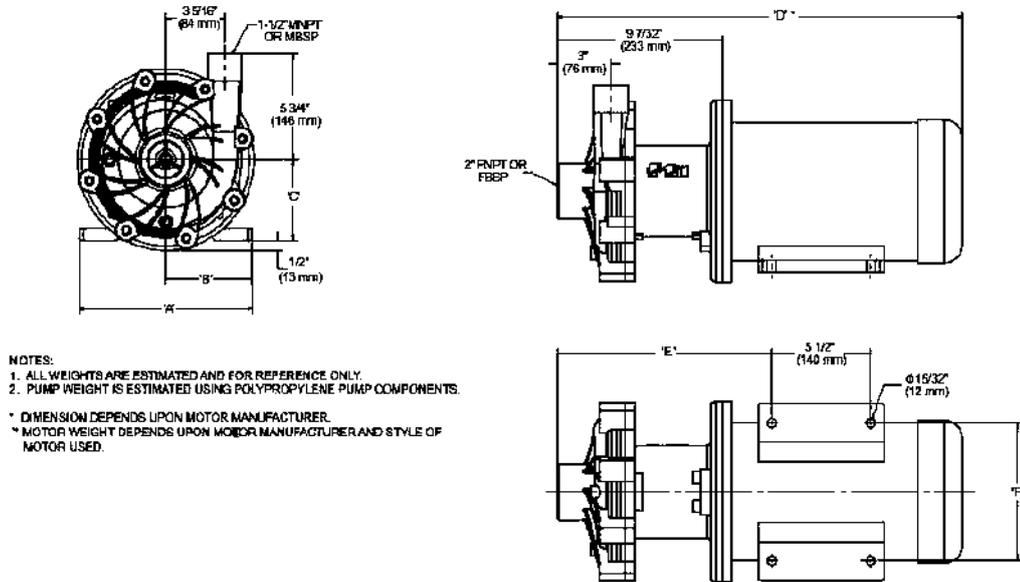


Ilustración 4-13: Dimensiones de la bomba de llenado

Fuente: FTI, 2023.

Tabla 4-8: Constantes de referencia de la bomba de llenado

Unidades	'A'	'B'	'C'	'D'	'E'	'F'
pulg.	8,06	4,03	4,33	21,94	11,69	6,31
mm	205	102	110	557	297	160

Fuente: FTI, 2023.

4.3.5 Sensor de ausencia de flujo

Este instrumento de tipo paleta se encuentra situado junto a las bombas de llenado con el objetivo de detectar si pasa fluido o no por la tubería.

El sensor envía una señal digital al DCS que indica si hay flujo o no (anomalía), previniendo los operarios de turno de que deben apagar las bombas de llenado.



Ilustración 4-14: Sensor de ausencia de flujo

Fuente: FLS, 2020.

A continuación, se muestran algunas de las características y datos técnicos del sensor:

Tabla 4-9: Especificaciones FLOWX3 F3.05 Paddlewheel Flow Switch

Cuerpo del sensor	CPVC, PVDF, latón o acero inoxidable 316L
Indicador de estado local	Led VERDE = caudal Led ROJO = Sin caudal
Carcasa	IP65
Rango de velocidad	0,15 a 8 m/s (0,5 a 25 ft/s)
Rango de tamaño de tuberías	DN15 a DN600 (0,5 a 24 in)
Tensión de alimentación	12 a 24 VDC regulada
Corriente de alimentación	< 50 mA
Salida de relé	Contacto SPDT, 1A a 24VDC, 0,1A a 230 VAC
Punto sin caudal	0,15 m/s (0,5 ft/s)

Fuente: FLS, 2020.

Además, las dimensiones del sensor de ausencia de flujo son las siguientes:

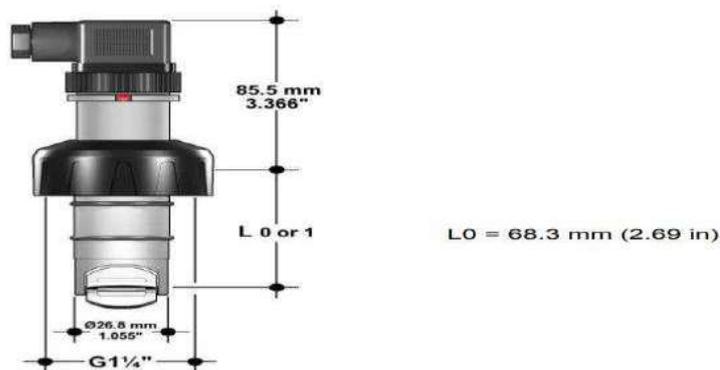


Ilustración 4-15: Dimensiones del sensor de ausencia de flujo

Fuente: FLS, 2020.

4.3.6 Válvula de control

Esta válvula de tipo solenoide tiene como objetivo el control del paso de los químicos (morfolina y sulfito de sodio) y el agua de alimentación a los tanques de condensado; a su vez controlar la salida del agua tratada al sistema de calderas.

Las válvulas solenoides son unidades de control que, cuando se activan o desactivan mediante una señal eléctrica, cierran o permiten el flujo de fluido.

Para la selección del modelo de las válvulas solenoides se tomó en cuenta el tipo de fluido a emplear, que en este caso son el agua (alimentación y tratada), la morfolina y el sulfito de sodio.

Algunas de las características y datos técnicos de la válvula solenoide para el agua de alimentación son:



Ilustración 4-16: Válvula solenoide del agua de alimentación

Fuente: Emerson EC, 2015.

Tabla 4-10: Especificaciones Válvula solenoide ASCO 8210G129

Cuerpo	Acero inoxidable 316L
Sellos y discos	NBR o PTFE
Función	2 vías - 2/2 normalmente cerrada
Diámetro de conexión (pulg.)	2
Factor de flujo Kv (m³/h)	37

Presión diferencial de operación (bar)	Mínima: 0,3 Máxima, AC: 9 Máxima, DC: 3
Temperatura del fluido (°C)	AC: 82 DC: 65
Potencia nominal (watts) / Clase de aislamiento	AC: 6,1/F DC: 11,6/F
Actuador de válvula	Solenoides
Voltajes estándar	24, 120, 240, 480 volts de AC, 60 Hz (o 110, 220 volts de AC, 50 Hz); 6, 12, 24, 120, 240 volts de DC
Anillo de sombra	Plata
Sujetador de disco	PA
Tubo del núcleo	Acero inoxidable 305
Núcleo móvil y núcleo fijo	Acero inoxidable 430F
Resortes	Acero inoxidable 302

Fuente: Emerson EC, 2015.

Las dimensiones de la válvula solenoide para el agua de alimentación son las siguientes:

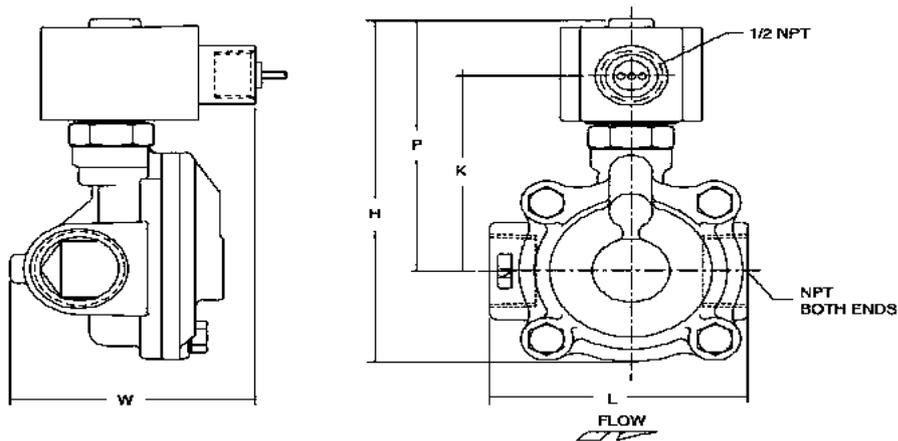


Ilustración 4-17: Dimensiones de la válvula solenoide del agua de alimentación

Fuente: Emerson EC, 2015.

Tabla 4-11: Constantes de referencia de la válvula solenoide del agua de alimentación

Unidades	H	K	L	P	W
pulg.	6,46	3,57	3,75	4,83	3,74
mm	164	91	95	123	95

Fuente: Emerson EC, 2015.

Por otra parte, las características y datos técnicos de la válvula solenoide para el agua tratada son:



Ilustración 4-18: Válvula solenoide del agua tratada

Fuente: Emerson EC, 2015.

Tabla 4-12: Especificaciones Válvula solenoide ASCO 8210G087

Cuerpo	Acero inoxidable 304
Sellos y discos	NBR o PTFE
Función	2 vías - 2/2 normalmente cerrada
Diámetro de conexión (pulg.)	½
Factor de flujo Kv (m³/h)	3,4
Presión diferencial de operación (bar)	Mínima:0 Máxima, AC:10 Máxima, DC: 3
Temperatura del fluido (°C)	AC: 79 DC: 65
Potencia nominal (watts) / Clase de aislamiento	AC: 17,1/F DC: 11,6/F
Actuador de válvula	Solenoides
Voltajes estándar	24, 120, 240, 480 volts de AC, 60 Hz (o 110, 220 volts de AC, 50 Hz); 6, 12, 24, 120, 240 volts de DC
Anillo de sombra	Plata
Sujetador de disco	PA
Tubo del núcleo	Acero inoxidable 305
Núcleo móvil y núcleo fijo	Acero inoxidable 430F
Resortes	Acero inoxidable 302

Fuente: Emerson EC, 2015.

Las dimensiones de la válvula solenoide para el agua tratada son las siguientes:

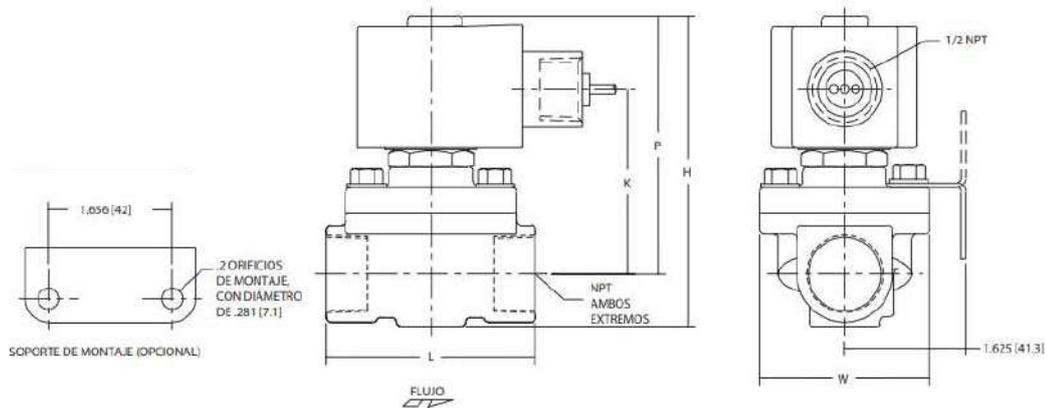


Ilustración 4-19: Dimensiones de la válvula solenoide del agua tratada

Fuente: Emerson EC, 2015.

Tabla 4-13: Constantes de referencia de la válvula solenoide del agua tratada

Unidades	H	K	L	P	W
pulg.	4,19	2,50	2,81	3,47	2,39
mm	106	64	71	88	61

Fuente: Emerson EC, 2015.

Además, las características y datos técnicos de la válvula solenoide para la morfina y el sulfito de sodio son:



Ilustración 4-20: Válvula solenoide para los químicos

Fuente: SHAKO, 2020.

Tabla 4-14: Especificaciones Válvula solenoide SHAKO PE220H-04

Función	2 vías - 2/2 normalmente cerrada
Tamaño del puerto	1/2"

Fluido	Agua pura, ácido químico y líquido alcalino
Clase de protección	IP65 (DIN 40 050)
Clase de aislamiento	F
Tolerancia de voltaje	± 10%
Voltaje estándar	220V AC, 110V AC, 24V DC
Consumo de energía	110V AC: 17,6VA, 220V AC: 18,1 VA, 24V DC: 15W
Peso	440 g
Tipo de bobina	DIN
Ciclo de trabajo	100% ED
Instalación	Horizontal
Temperatura ambiente	-10 - 60 °C
Temperatura del fluido	-10 - 90 °C
Material del cuerpo	Teflón
Presión de prueba	4,5 kgf/cm ²
Rango de presión de funcionamiento	0 – 3 kgf/cm ²
Diafragma	NBR PTFE

Fuente: SHAKO, 2020.

Las dimensiones (mm) de la válvula solenoide para la morfolina y sulfito de sodio son las siguientes:

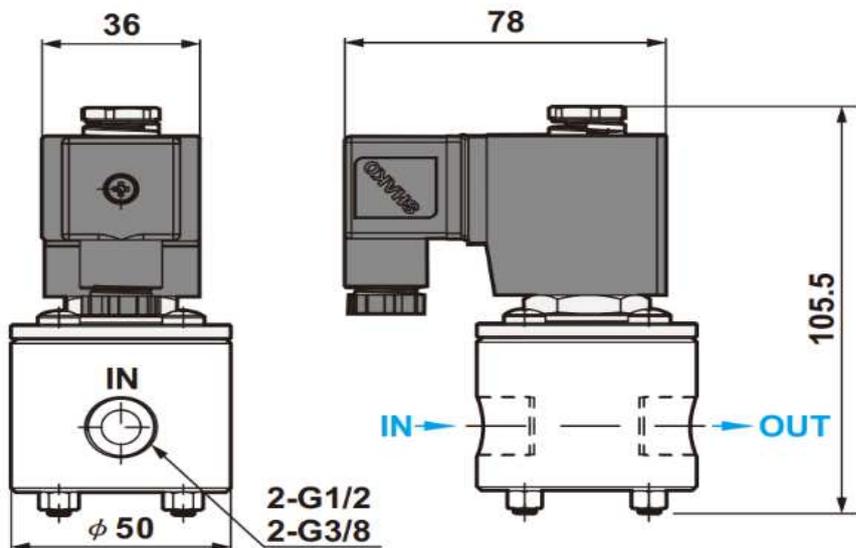


Ilustración 4-21: Dimensiones de la válvula solenoide para los químicos

Fuente: SHAKO, 2020.

4.3.7 Transmisor de nivel

El equipo tiene la función de enviar la información sobre el nivel de los depósitos de químicos y de agua de alimentación al DCS para poder configurar las alarmas de nivel.

Se decide seleccionar un tipo de transmisor que se base en la medida de la presión por medio de sensores piezorresistivos. Debido a que el equipo va estar en contacto con los químicos se ha de instalar una membrana de separación para evitar que el químico deteriore el equipo.



Ilustración 4-22: Transmisor de nivel

Fuente: Honeywell, 2016.

A continuación, se muestran algunas de las características y datos técnicos del equipo:

Tabla 4-15: Especificaciones Honeywell STG800 SMARTLINE

Límite superior del rango/ Intervalo máx psi (bar)	50 (3.5)
Límite inferior psi (bar)	-14.7 (-1.0)
Intervalo mín. psi (bar)	0.5 (0.35)
Opciones de salida/comunicaciones	4-20 mA CC Honeywell Digitalmente Mejorado (DE-Digitally Enhanced) HART (versión 7.0) FOUNDATION™ Fieldbus
Precisión	Hasta 0,055 % de intervalo calibrado
Estabilidad	Hasta 0,015 % del límite superior del rango por año durante diez años

Capacidad de rango	Hasta 100:1
Tiempo de respuesta rápido	Hasta 80 ms
Tensión de alimentación	0,8 a 42,4 V CC en los terminales
Resistencia de carga	0 a 1440 ohmios
Peso neto	3,6 libras (1,6 kg) con carcasa de aluminio
Fluido de llenado	Aceite de silicona 200 o CTFE (clorotrifluoroetileno)
Material de diafragmas de barrera	316L SS, Hastelloy C-276
Material de las cámaras	316 SS, Hastelloy C-276
Caja de componentes electrónicos	Aluminio puro de bajo contenido en cobre (<0,6 %), con revestimiento de polvo de poliéster. Cumple NEMA 4X, IP66, IP67 y NEMA 7 (antideflagrante). La carcasa de acero inoxidable es opcional.
Conexiones del proceso	NPT (hembra) de ½ pulgada, NPT (macho) de ½ pulgada, 9/16 Aminco, DIN19213
Soporte de montaje	Disponibles soportes en ángulo en acero al carbono (galvanizado) o en acero inoxidable 304 o soporte plano en acero al carbono con soporte de tubería de 2 pulgadas.

Fuente: Honeywell, 2016.

Además, las dimensiones (mm/in) del transmisor de nivel son las siguientes:

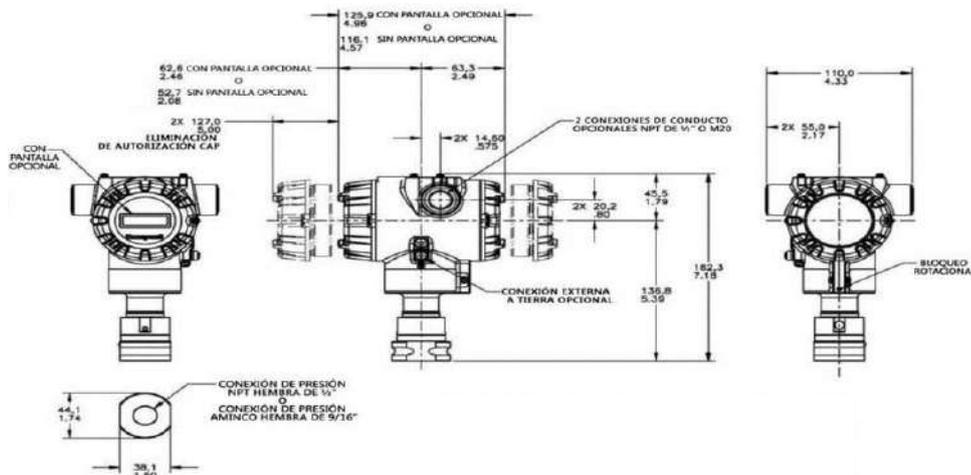


Ilustración 4-23: Dimensiones del transmisor de nivel

Fuente: Honeywell, 2016.

4.4 Control automático del sistema

El sistema está diseñado para ser controlado por medio de un sistema de control distribuido (DCS), donde los cuatro subsistemas comparten un cuadro de control y también, cada armario de dosificación dispone de su propia caja de conexiones. Estos dos elementos son los encargados de gestionar el funcionamiento del sistema, comunicando las indicaciones dadas por el personal de la central y recopilando la información relacionada al estado de la operación.

Por medio de las señales desde el DCS, se puede definir los comandos de arranque y parada de cada bomba dosificadora teniendo en cuenta que siempre debe haber una en reserva también, el comando de setpoint que envía los resultados del algoritmo utilizado para calcular el punto de operación de la bomba, a la misma en cuestión

Por otro lado, cada subsistema dispondrá de un transmisor de nivel (presión) utilizado para transmitir una señal al DCS indicando el nivel de químico en el depósito.

Para el control del nivel de los depósitos, una alarma aparecerá en el DCS cuando la señal alcance los niveles expuestos en las siguientes tablas:

Tabla 4-16: Alarmas para el nivel del depósito de la amina neutralizante

Nivel	Alarma	Criterio
90%	Nivel alto	Parada manual de las bombas de llenado
20%	Nivel bajo	Se recomienda rellenar el depósito
15%	Nivel muy bajo	Parada automática de las bombas dosificadoras

Fuente: Álvarez M., 2016.

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-17: Alarmas para el nivel del depósito del sulfito de sodio

Nivel	Alarma	Criterio
95%	Nivel alto	-
10%	Nivel bajo	Se recomienda preparar un nuevo container
5%	Nivel muy bajo	Parada automática de las bombas dosificadoras

Fuente: Álvarez M., 2016.

Realizado por: Salamea J., 2023.

En base al estudio de (Álvarez Fernández, 2016, pp.50-54), las bombas dosificadoras deben mantener el nivel del parámetro objetivo (B), por tanto, el porcentaje de la señal de dosificación dependerá del parámetro medido (A) y sólo habrá dosificación cuando $(A-B)>0$:

$$\% \text{ Señal de dosificación} = \frac{C \times D \times H \times 100}{F \times E}$$

Donde: C es la dosis del químico (ppm), D es el caudal de alimentación (m^3/h), E es el caudal máximo de dosificación (l/h), F es la densidad del químico (g/l) y H es el factor de corrección

Adicional al algoritmo de dosificación, el sistema ajustara las posibles desviaciones mediante un controlador PID cuando el régimen de trabajo sea constante.

4.5 Costos de implementación

Para la implementación de este proyecto es necesario de una inversión para la adquisición de todos los equipos y materiales necesarios para el funcionamiento del sistema automático de dosificación de químicos, en las siguientes tablas se muestran cada uno de los costos:

Tabla 4-18: Costos de materiales y equipos para la implementación

Equipo/ Materiales	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Transmisor M800 Water 2-CH y electrodo pH Pure Water pHure LE	4	3.900,00	15.600,00
Orbisphere K1100 y K1100 (sensor de rango bajo)	4	2.092,42	8.369,68
Grundfos Dosing Pump DDI 222 150-4	4	2.219,21	8.876,84
Grundfos Dosing Pump DDA 7.5-16 FC	4	869,62	3.478,48
Bomba Serie DB11	2	2.192,02	4.384,04
FLOWX3 F3.05 Paddlewheel Flow Switch	2	39,50	79,00
Válvula solenoide ASCO 8210G129	2	3.038,60	6.077,20
Válvula solenoide ASCO 8210G087	2	425,00	850,00

Válvula solenoide SHAKO PE220H-04	4	160,00	640,00
Honeywell STG800 SMARTLINE	6	586,35	3.518,10
Indicadores de nivel de control	2	110,00	220,00
Comando de start/stop local	12	6,44	77,28
Manómetro de 0 a 100 psi de ½ pulgada	4	208,82	835,28
mt de cables de control 2x16 mm + shield	120	56,80	568
mt de cable de potencia 3x8 mm+ tierra de 600 vol	30	5,53	165,9
Agitadores automáticos 440V axial positivo con paleta de revestimiento resistente	2	1.230,00	2.460,00
Amortiguador de pulsaciones	4	163,18	652,72
Columna de calibración de 1000 ml	1	721,68	721,68
Columna de calibración de 500 ml	1	39,60	39,60
Columnas de calibración de 100 ml	2	34,27	68,54
Depósitos de almacenamiento	2	4.000,00	8.000,00
Cubetos	2	2.288,37	4.576,74
Válvulas de contrapresión de ½ pulgada	4	148,73	594,92
Válvulas de alivio de ½ pulgada	8	112,50	900,00
Válvulas check de ½ pulgada	12	71,64	859,68
Válvulas check de 1 ¼ pulgada	2	117,74	235,48
Válvulas check de 2 pulgadas	2	280,67	561,34
Filtros Y de ½ pulgada	4	52,30	209,20
Válvulas de diafragma de ½ pulgada	60	122,58	7.354,80
Válvulas de diafragma de 1 ¼ pulgada	2	184,99	369,98
Válvulas de diafragma de 2 pulgadas	4	249,95	999,80
Metros de tubería de ½ pulgada acero al carbono	100	13,93	1.392,00

Metros de tubería de 1 ¼ pulgada acero al carbono	35	28,79	1.007,65
Metros de tubería de 2 pulgadas acero al carbono	30	34,68	1.040,40
Codos a 90° de 2 pulgadas	8	22,99	183,92
Codos a 90° de 1 ¼ pulgada	4	10,99	43,96
Codo a 90° de ½ pulgada	35	8,32	291,2
Bridas soldadas de ½ pulgada	2	17,82	35,64
Total			86.339,05

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-19: Costos de inversión en recursos

Descripción	Costo
Mano de obra para la infraestructura	1.500,00
Mano de obra para la instalación de equipos	1.000,00
Hardware y Software	42.985,00
Subtotal	45.485,00
Imprevistos 10%	45.48,50
Total	50.033,50

Realizado por: Salamea J., 2023.

4.6 Diagramas P&ID del sistema automático de dosificación

En base a la información recogida durante la visita técnica a la CTE-II, el diseño propuesto, la instrumentación y materiales requeridos se realizó los diagramas P&ID que muestran los 4 subsistemas que conforman el sistema automático de dosificación de químicos y los puntos de dosificación de los químicos antes de ingresar al sistema de calderas de baja presión.

A continuación, se muestra una descripción de la nomenclatura utilizada en los diagramas P&ID:

Tabla 4-20: Descripción del diagrama P&ID

ITEM	DETALLE
FS 800	Interruptor de caudal para la bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
FAL 800	Alarma de ausencia de caudal en la bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.

HS 800	Interruptor de encendió/apagado de la bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
P 800	Bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
LI 801	Indicador de nivel del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
LIT 801	Transmisor e indicador de nivel del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
LIC 801	Controlador e indicador de nivel del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
P 801 A	Bomba dosificadora en operación del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
P 801 B	Bomba dosificadora en reserva del tanque de almacenamiento N°1 de morfolina.
PG 801	Manómetro de la línea de dosificación de morfolina al tanque de condensado N°1.
LIT 802	Transmisor e indicador de nivel del tanque IBC N°1 de sulfito de sodio.
LIC 802	Controlador e indicador de nivel del tanque IBC N°1 de sulfito de sodio.
P 802 A	Bomba dosificadora en operación del tanque IBC N°1 de sulfito de sodio.
P 802 B	Bomba dosificadora en reserva del tanque IBC N°1 de sulfito de sodio.
PG 802	Manómetro de la línea de dosificación de sulfito de sodio al tanque de condensado N°1.
CV 803	Válvula de control del ingreso de morfolina al tanque de condensado N°1.
AE 803	Sensor de pH del agua de alimentación del tanque de condensado N°1.
AIT 803	Transmisor e indicador de pH del agua de alimentación del tanque de condensado N°1.
AIC 803	Controlador e indicador de pH del agua de alimentación del tanque de condensado N°1.
CV 804	Válvula de control del ingreso de sulfito de sodio al tanque de condensado N°1.
AE 804	Sensor de oxígeno disuelto del agua de alimentación del tanque de condensado N°1.
AIT 804	Transmisor e indicador de oxígeno disuelto del agua de alimentación del tanque de condensado N°1.
AIC 804	Controlador e indicador de oxígeno disuelto del agua de alimentación del tanque de condensado N°1.
LG 805	Indicador de nivel del tanque de condensado N°1.
LIT 805	Transmisor e indicador de nivel del tanque de condensado N°1.

LIC 805	Controlador e indicador de nivel del tanque de condensado N°1.
CV 805	Válvula de control del ingreso de agua de alimentación al tanque de condensado N°1.
P 805 A	Bomba dosificadora en operación del tanque de condensado N°1 de agua tratada al sistema de calderas.
P 805 B	Bomba dosificadora en reserva del tanque de condensado N°1 de agua tratada al sistema de calderas.
PG 805 A	Manómetro de la línea de dosificación de agua tratada de la bomba en operación del tanque de condensado N°1.
PG 805 B	Manómetro de la línea de dosificación de agua tratada de la bomba en reserva del tanque de condensado N°1.
AE 806 A	Sensor de oxígeno disuelto del agua tratada que sale del tanque de condensado N°1.
AIT 806 A	Transmisor e indicador de oxígeno disuelto del agua tratada que sale del tanque de condensado N°1.
AIC 806 A	Controlador e indicador de oxígeno disuelto del agua tratada que sale del tanque de condensado N°1.
AE 806 B	Sensor de pH del agua tratada que sale del tanque de condensado N°1.
AIT 806 B	Transmisor e indicador de pH del agua tratada que sale del tanque de condensado N°1.
AIC 806 B	Controlador e indicador de pH del agua tratada que sale del tanque de condensado N°1.
CV 806	Válvula de control del ingreso de agua tratada al sistema de calderas.
HS 807	Interruptor de encendió/apagado del agitador del tanque de condensado N°1.
M 807	Agitador del tanque de condensado N°1.
FS 900	Interruptor de caudal para la bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
FAL 900	Alarma de ausencia de caudal en la bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
HS 900	Interruptor de encendió/apagado de la bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
P 900	Bomba de llenado del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
LI 901	Indicador de nivel del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
LIT 901	Transmisor e indicador de nivel del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.

LIC 901	Controlador e indicador de nivel del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
P 901 A	Bomba dosificadora en operación del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
P 901 B	Bomba dosificadora en reserva del tanque de almacenamiento N°2 de morfolina.
PG 901	Manómetro de la línea de dosificación de morfolina al tanque de condensado N°2.
LIT 902	Transmisor e indicador de nivel del tanque IBC N°2 de sulfito de sodio.
LIC 902	Controlador e indicador de nivel del tanque IBC N°2 de sulfito de sodio.
P 902 A	Bomba dosificadora en operación del tanque IBC N°2 de sulfito de sodio.
P 902 B	Bomba dosificadora en reserva del tanque IBC N°2 de sulfito de sodio.
PG 902	Manómetro de la línea de dosificación de sulfito de sodio al tanque de condensado N°2.
CV 903	Válvula de control del ingreso de morfolina al tanque de condensado N°2.
AE 903	Sensor de pH del agua de alimentación del tanque de condensado N°2.
AIT 903	Transmisor e indicador de pH del agua de alimentación del tanque de condensado N°2.
AIC 903	Controlador e indicador de pH del agua de alimentación del tanque de condensado N°2.
CV 904	Válvula de control del ingreso de sulfito de sodio al tanque de condensado N°2.
AE 904	Sensor de oxígeno disuelto del agua de alimentación del tanque de condensado N°2.
AIT 904	Transmisor e indicador de oxígeno disuelto del agua de alimentación del tanque de condensado N°2.
AIC 904	Controlador e indicador de oxígeno disuelto del agua de alimentación del tanque de condensado N°2.
LG 905	Indicador de nivel del tanque de condensado N°2.
LIT 905	Transmisor e indicador de nivel del tanque de condensado N°2.
LIC 905	Controlador e indicador de nivel del tanque de condensado N°2.
CV 905	Válvula de control del ingreso de agua de alimentación al tanque de condensado N°2.
P 905 A	Bomba dosificadora en operación del tanque de condensado N°2 de agua tratada al sistema de calderas.

P 905 B	Bomba dosificadora en reserva del tanque de condensado N°2 de agua tratada al sistema de calderas.
PG 905 A	Manómetro de la línea de dosificación de agua tratada de la bomba en operación del tanque de condensado N°2.
PG 905 B	Manómetro de la línea de dosificación de agua tratada de la bomba en reserva del tanque de condensado N°2.
AE 906 A	Sensor de oxígeno disuelto del agua tratada que sale del tanque de condensado N°2.
AIT 906 A	Transmisor e indicador de oxígeno disuelto del agua tratada que sale del tanque de condensado N°2.
AIC 906 A	Controlador e indicador de oxígeno disuelto del agua tratada que sale del tanque de condensado N°2.
AE 906 B	Sensor de pH del agua tratada que sale del tanque de condensado N°2.
AIT 906 B	Transmisor e indicador de pH del agua tratada que sale del tanque de condensado N°2.
AIC 906 B	Controlador e indicador de pH del agua tratada que sale del tanque de condensado N°2.
CV 906	Válvula de control del ingreso de agua tratada al sistema de calderas.
HS 907	Interruptor de encendió/apagado del agitador del tanque de condensado N°2.
M 907	Agitador del tanque de condensado N°2.

Realizado por: Salamea J., 2023.

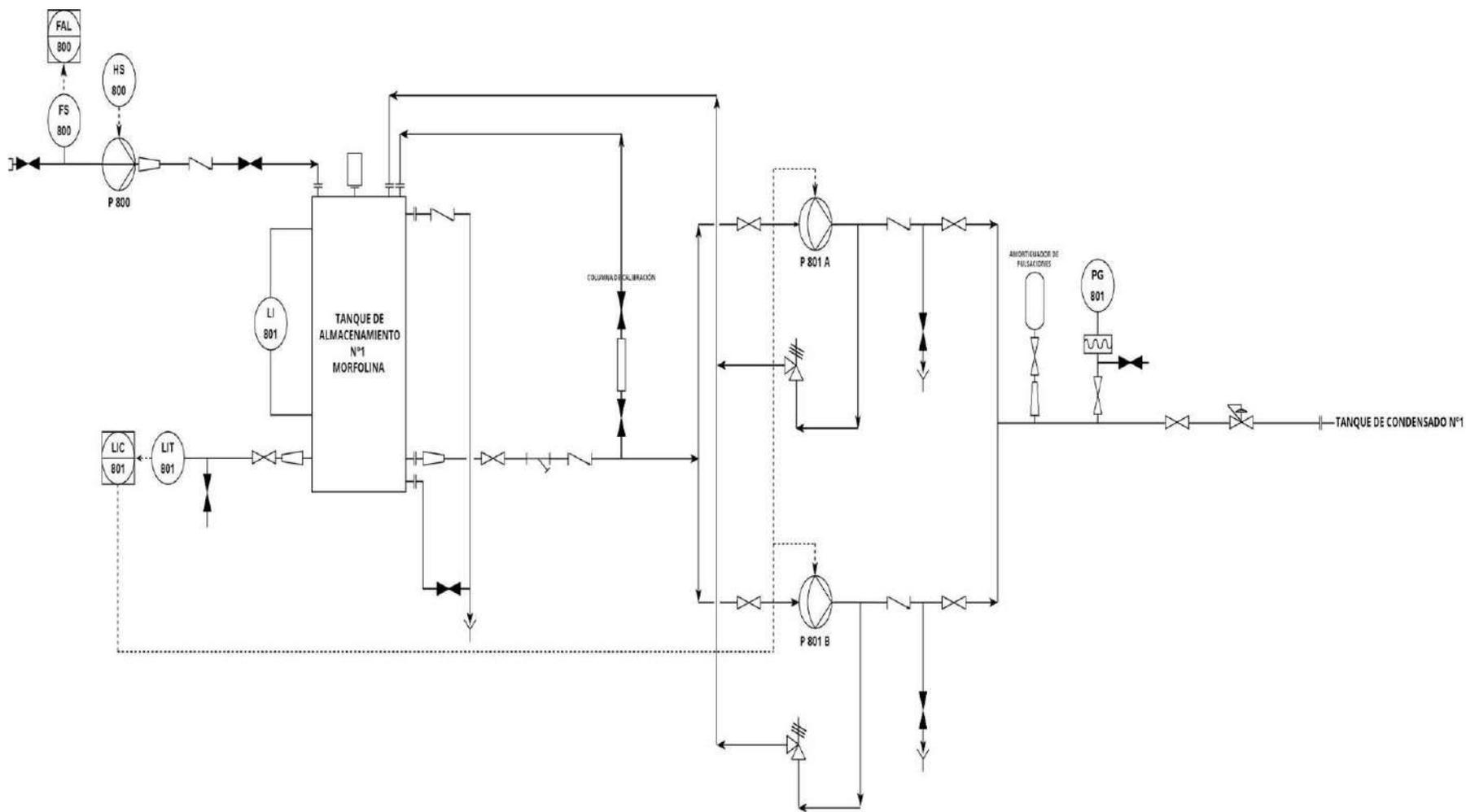


Ilustración 4-24: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de morfolina para el tanque de condensado N°1

Realizado por: Salamea J., 2023.

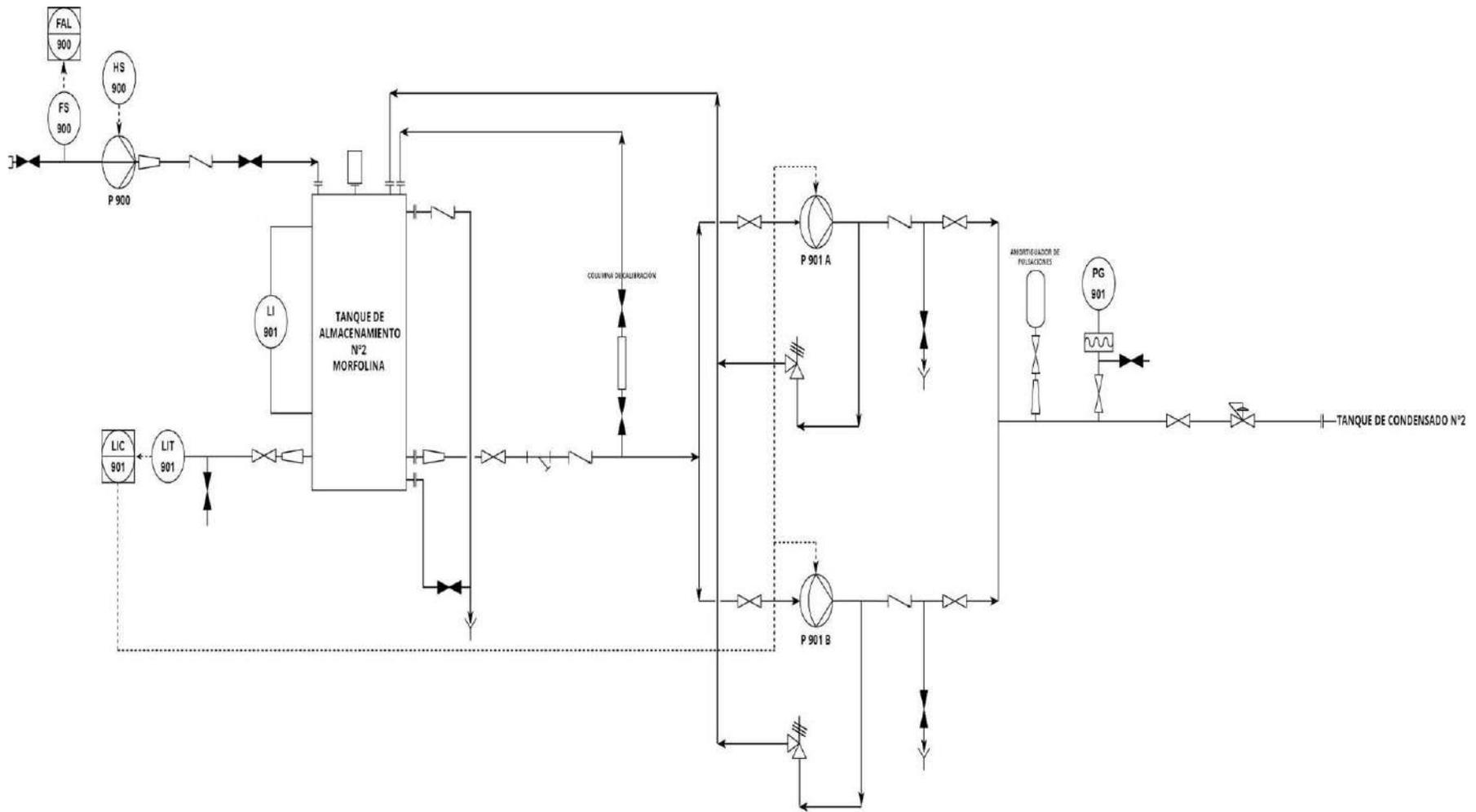


Ilustración 4-25: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de morfolina para el tanque de condensado N°2

Realizado por: Salamea J., 2023.

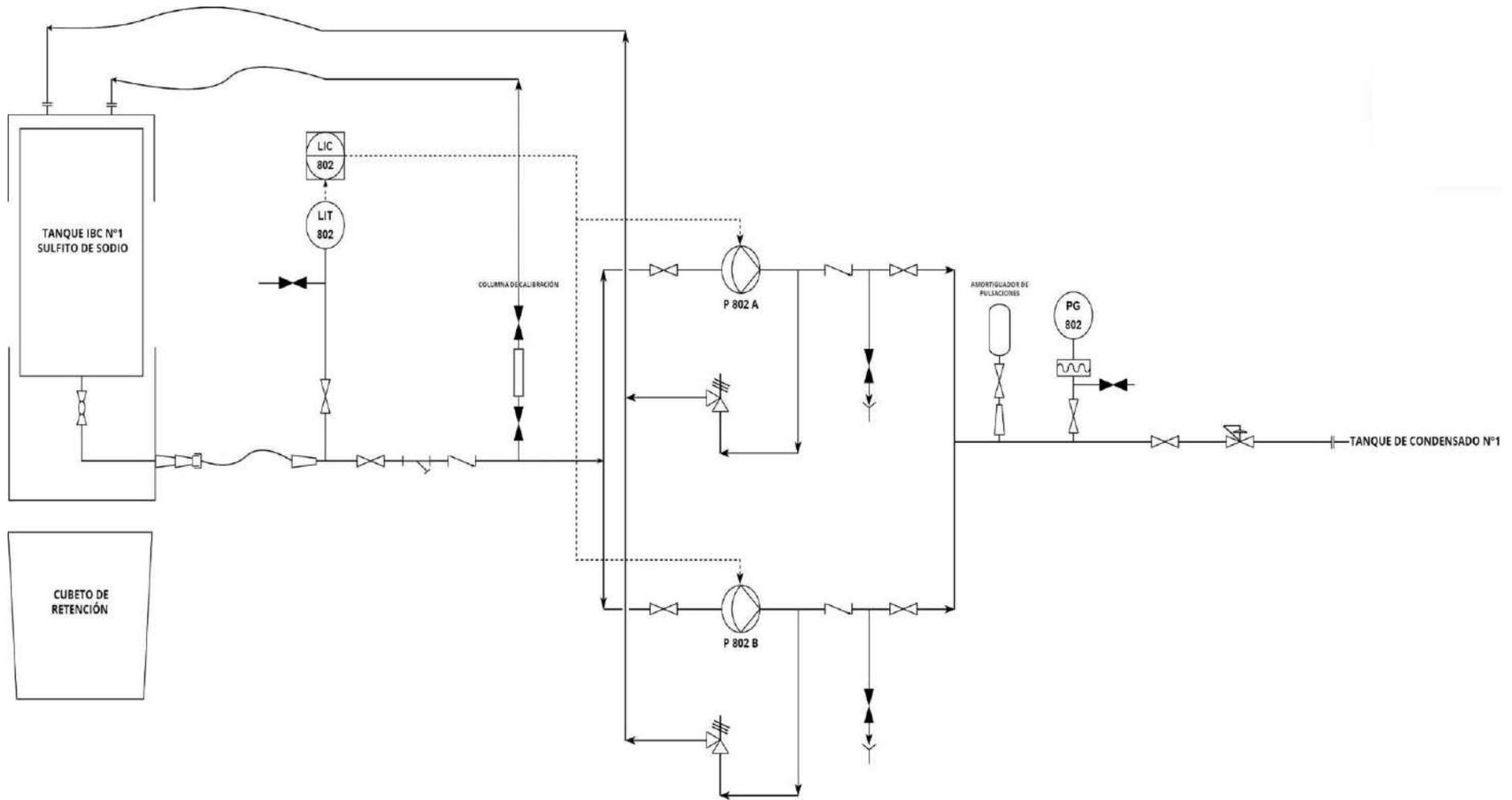


Ilustración 4-26: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de sulfito de sodio para el tanque de condensado N°1

Realizado por: Salamea J., 2023.

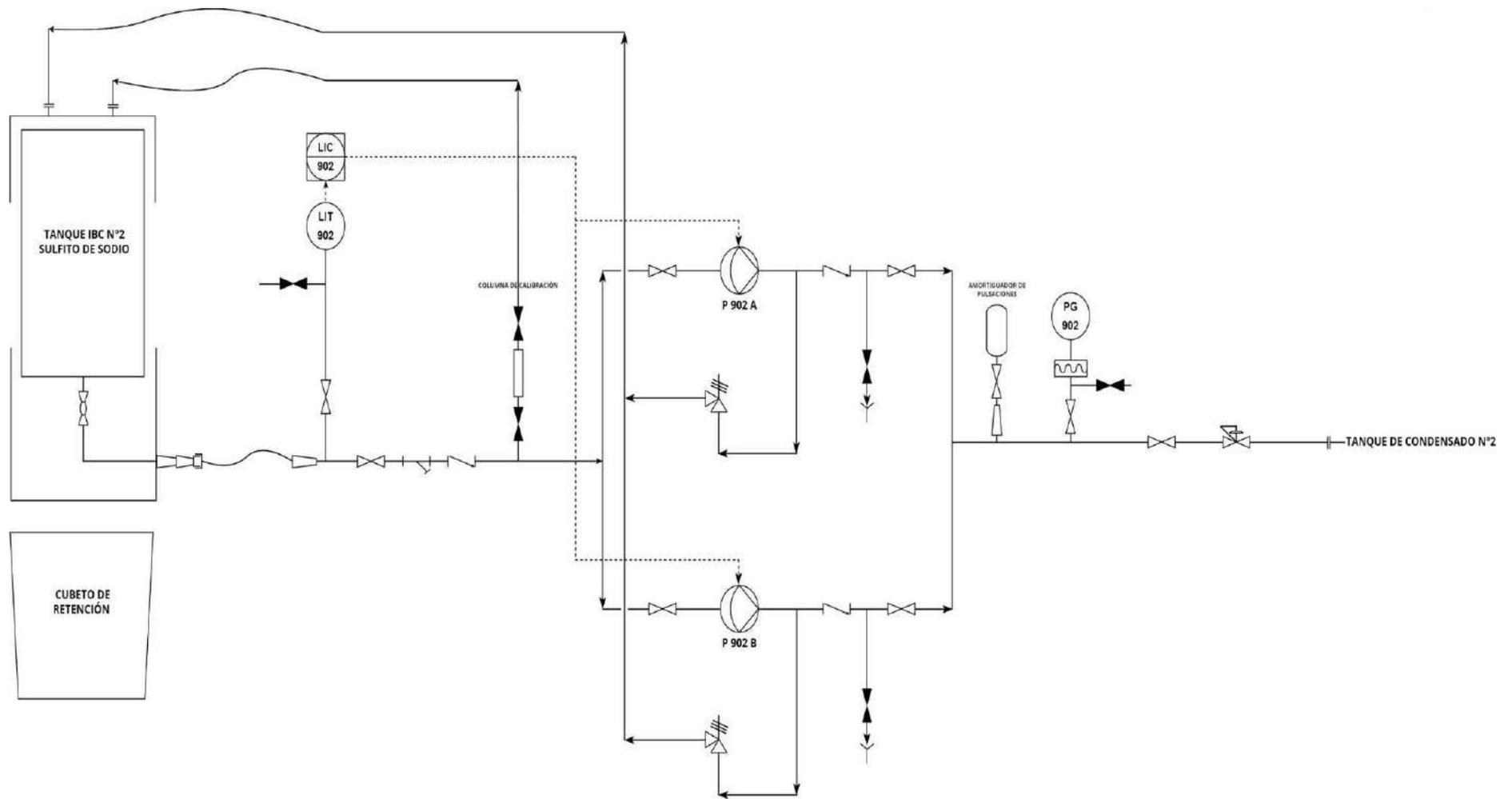


Ilustración 4-27: Diagrama P&ID del subsistema de dosificación de sulfito de sodio para el tanque de condensado N°2

Realizado por: Salamea J., 2023.

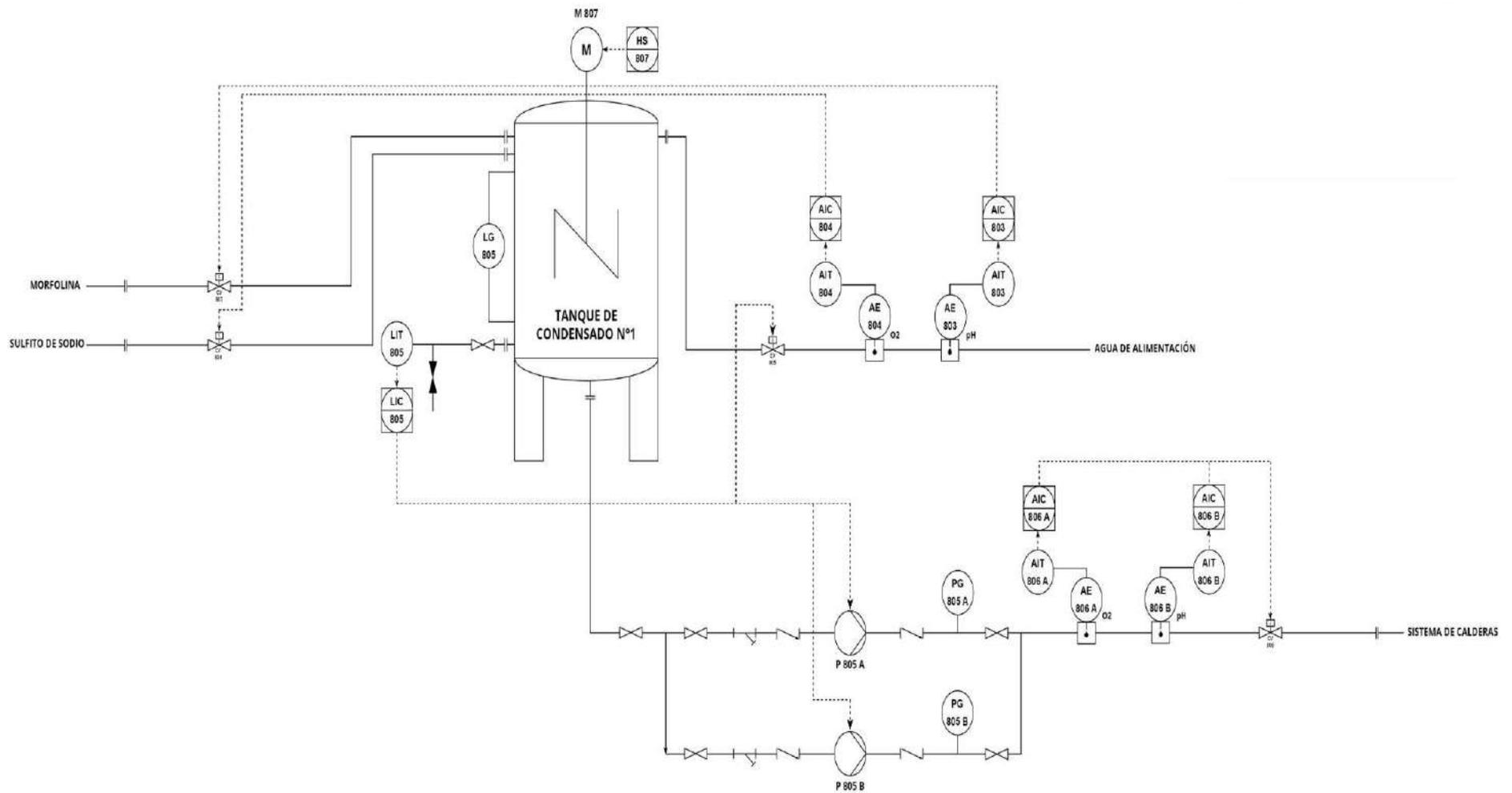


Ilustración 4-28: Diagrama P&ID del tanque de condensado N°1

Realizado por: Salamea J., 2023.

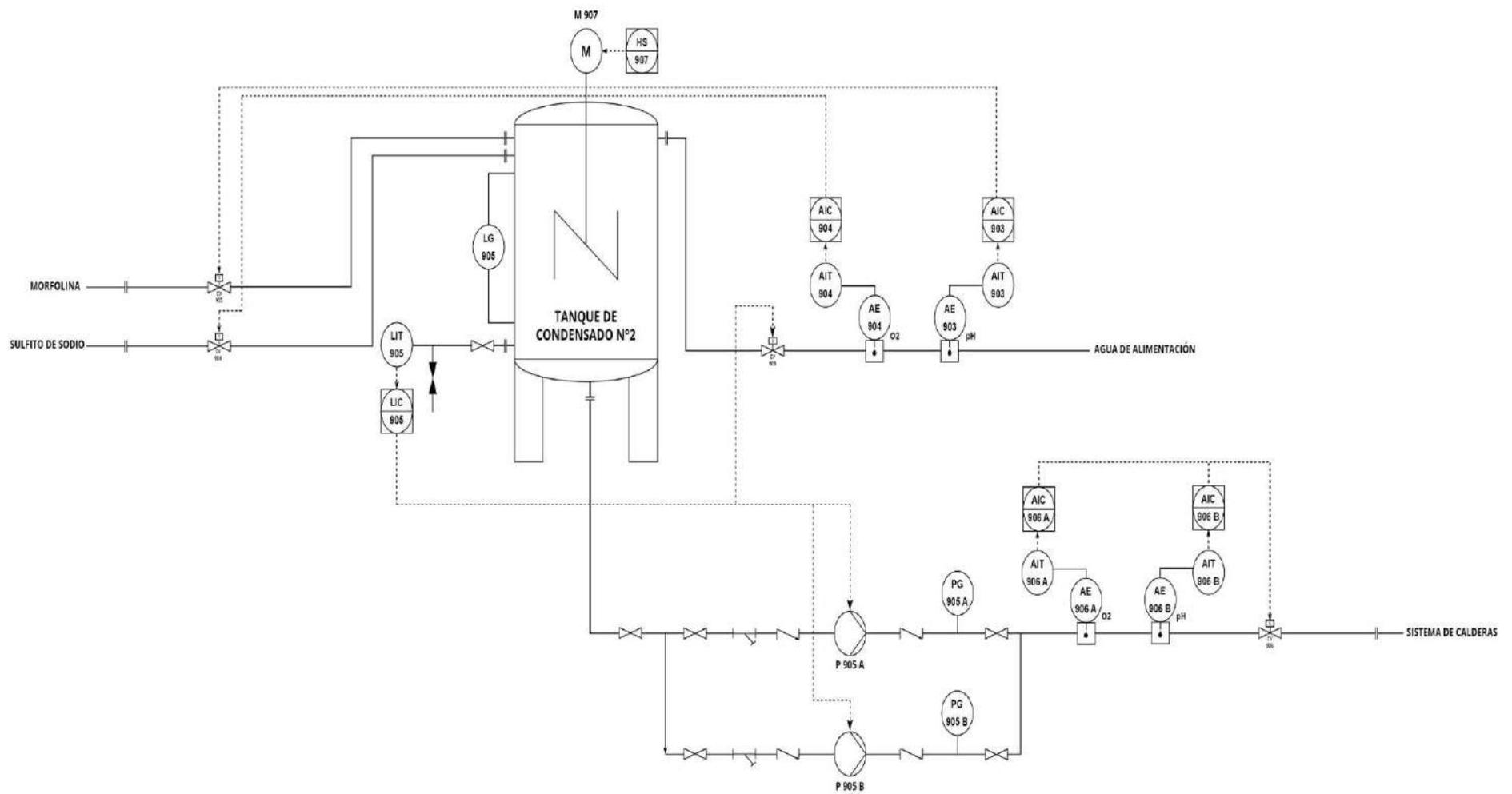


Ilustración 4-29: Diagrama P&ID del tanque de condensado N°2

Realizado por: Salamea J., 2023.

4.7 Análisis de resultados

El pH describe las propiedades ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es fundamental en la prevención de los problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).

Para el control de pH en la Central Térmica Esmeraldas II se realiza una dosificación de morfolina con una concentración del 20% (producto químico determinado por los responsables del área de control químico de la central), la cual es usada como inhibidor de corrosión en los sistemas de condensados de vapor de las calderas con el propósito de neutralizar el ácido carbónico, además se utiliza para mantener los niveles de pH al mínimo en las líneas de condensados y evitar la corrosión ácida por el hierro disuelto.

Por otro lado, se realiza una dosificación de sulfito de sodio con una concentración del 10%, el cual se utiliza en el agua de alimentación de la caldera para la eliminación del oxígeno disuelto, que de lo contrario podría promover la corrosión por picaduras dentro del sistema de la caldera.

En el Laboratorio de la CTE-II, se realizó el análisis del pH y el oxígeno disuelto de las distintas muestras de agua (alimentación, caldera y vapor sobrecalentado) en 5 calderas de las 12 calderas que tiene la Central Térmica Esmeraldas II, para diagnosticar el estado actual del sistema de dosificación química de las calderas de la central.

Por otra parte, también se tomaron como base de datos los análisis posteriores de los años 2019, 2020 y 2021 para definir el diseño de sistema automático de dosificación.

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas de laboratorio y simulación.

4.7.1 Resultados de laboratorio

4.7.1.1 Resultados de pH del agua de alimentación

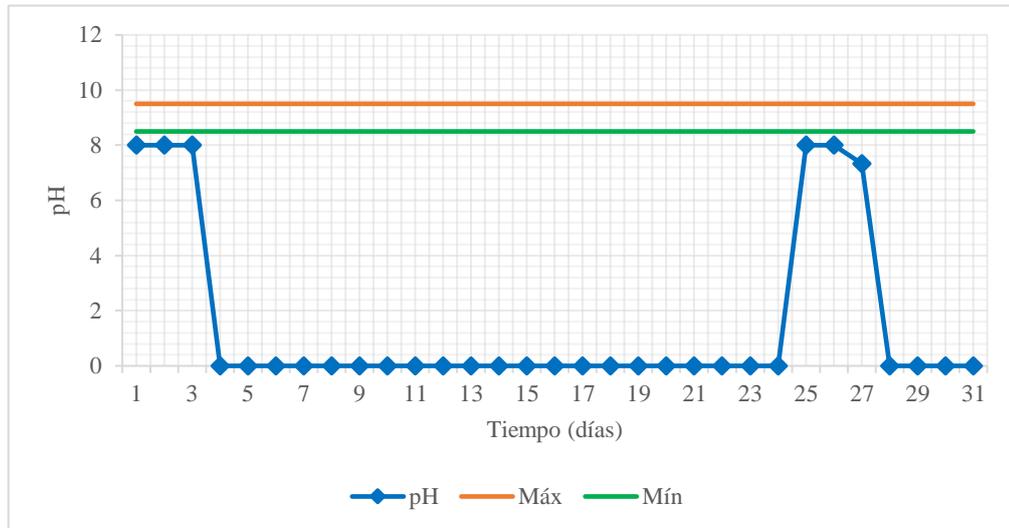


Ilustración 4-30: pH del agua de alimentación de la caldera 1 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

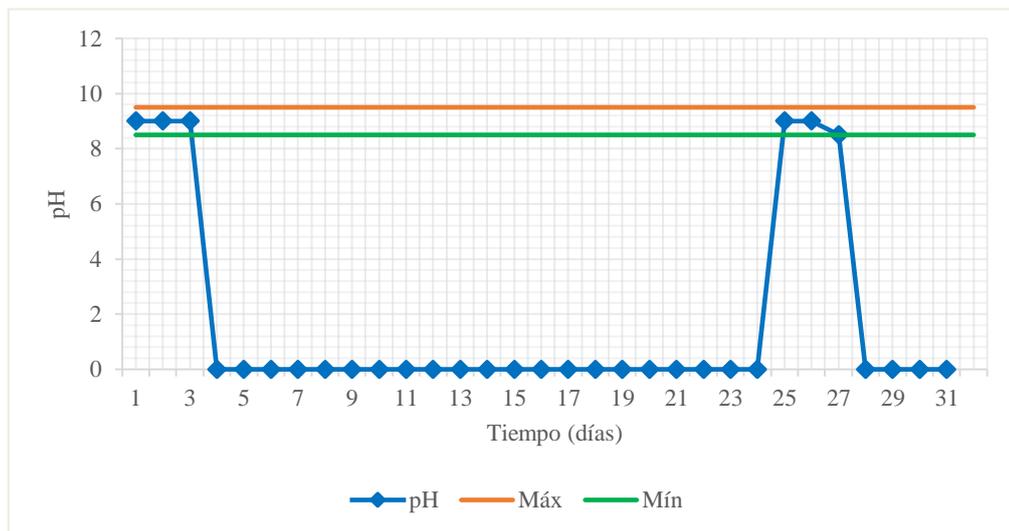


Ilustración 4-31: pH del agua de alimentación de la caldera 1 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-30 muestra que el pH del agua de alimentación de la caldera 1 se encuentra fuera de los límites permisibles (8.5-9.5) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en los días que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-31. Durante el mes, el valor promedio del pH

del agua de alimentación de la caldera 1 antes de tratamiento es de 7.89, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.92.

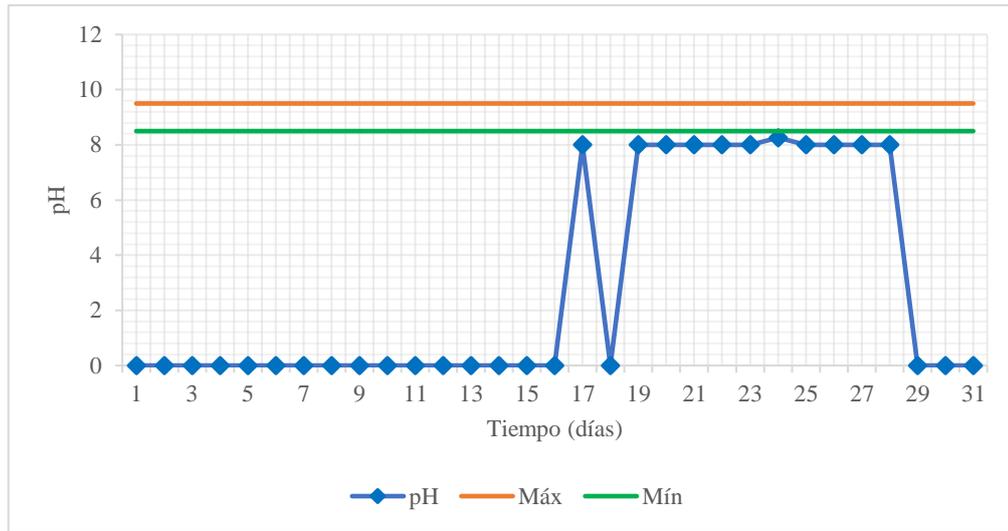


Ilustración 4-32: pH del agua de alimentación de la caldera 1 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

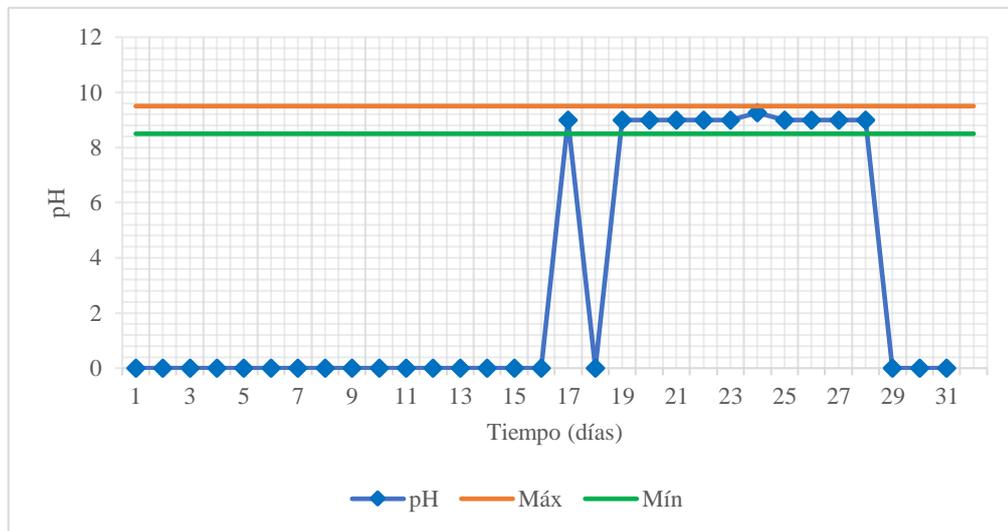


Ilustración 4-33: pH del agua de alimentación de la caldera 2 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-32 muestra que el pH del agua de alimentación de la caldera 2 se encuentra fuera de los límites permisibles (8.5-9.5) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en los días que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-33. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de alimentación de la caldera 2 antes de tratamiento es de 8.02, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 9.02.

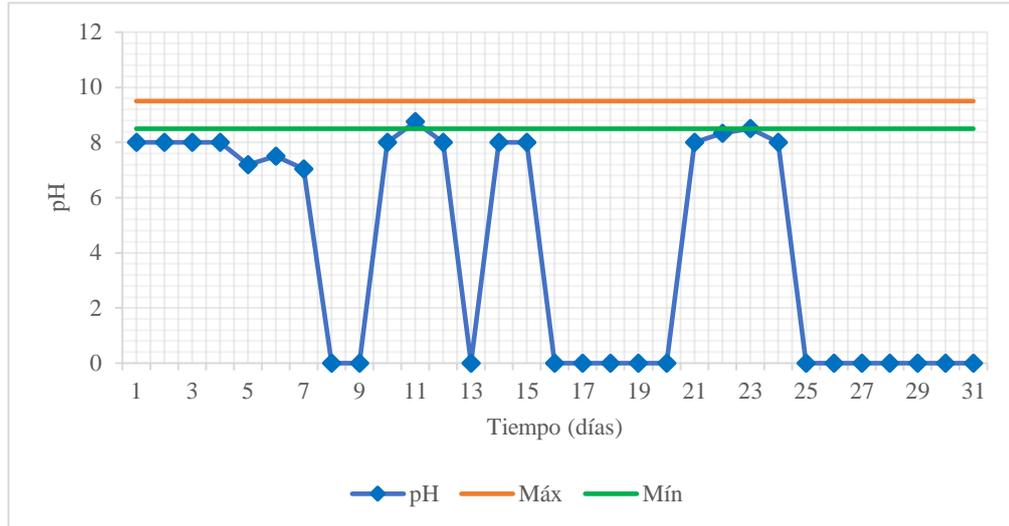


Ilustración 4-34: pH del agua de alimentación de la caldera 3 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

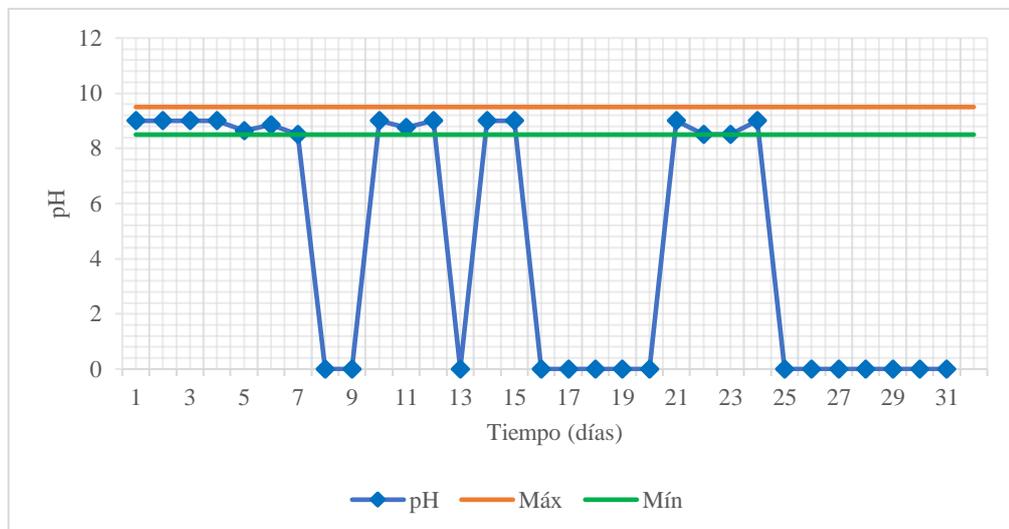


Ilustración 4-35: pH del agua de alimentación de la caldera 3 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-34 muestra que el pH del agua de alimentación de la caldera 3 se encuentra fuera de los límites permisibles (8.5-9.5) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en los algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectué un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-35. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de alimentación de la caldera 3 antes de tratamiento es de 7.96, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.86.

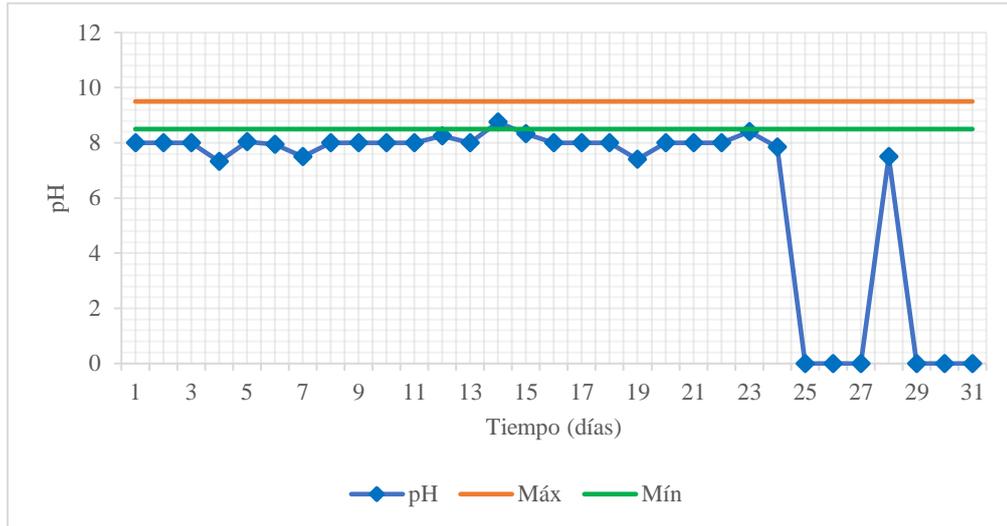


Ilustración 4-36: pH del agua de alimentación de la caldera 7 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

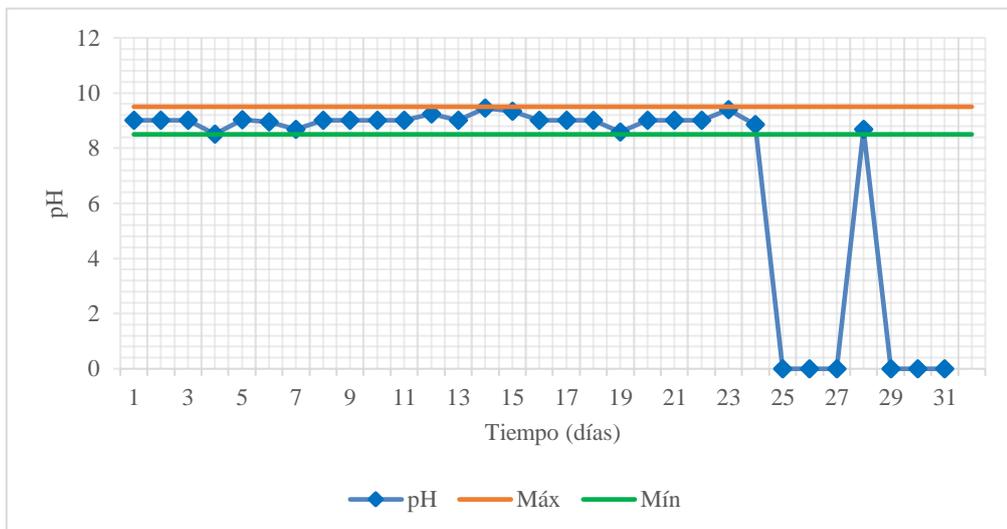


Ilustración 4-37: pH del agua de alimentación de la caldera 7 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-36 muestra que el pH del agua de alimentación de la caldera 7 se encuentra fuera de los límites permisibles (8.5-9.5) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en los algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectué un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-37. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de alimentación de la caldera 7 antes de tratamiento es de 7.97, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.99.

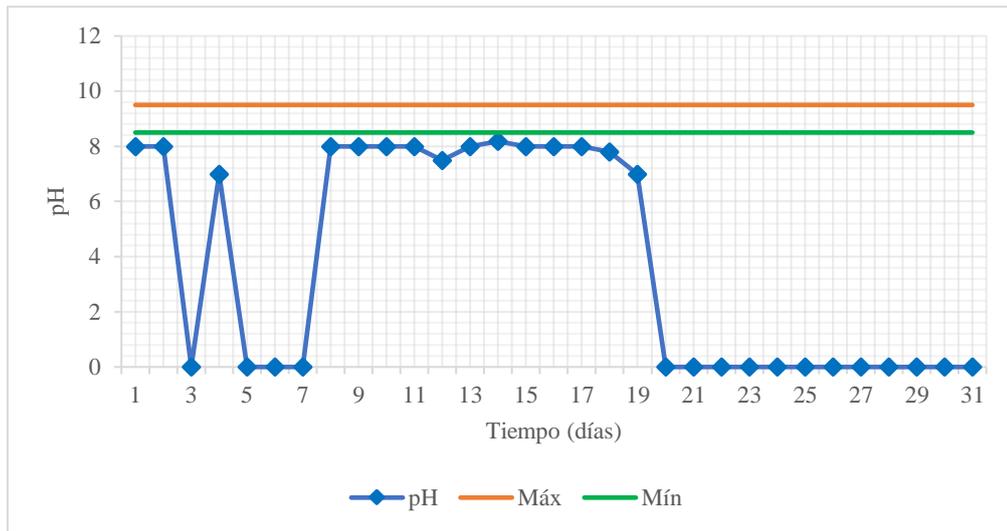


Ilustración 4-38: pH del agua de alimentación de la caldera 11 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

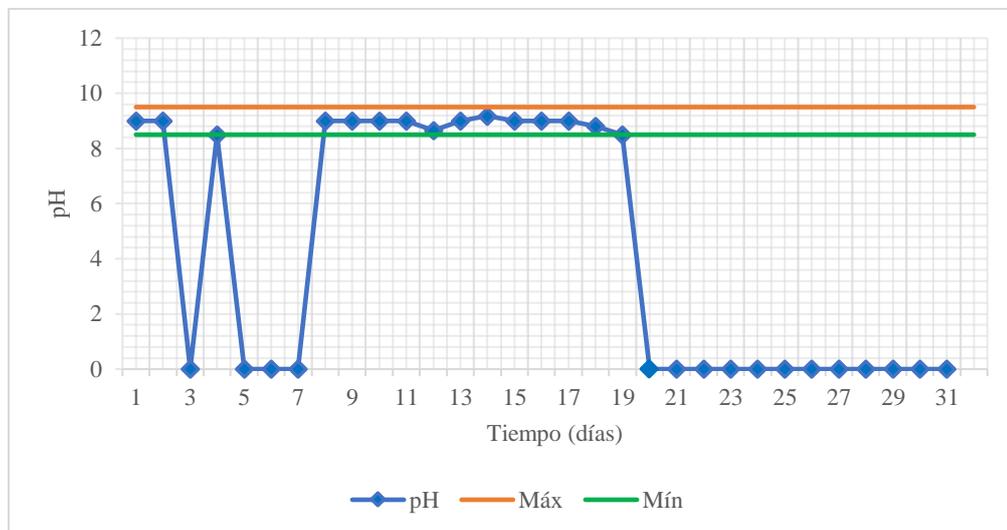


Ilustración 4-39: pH del agua de alimentación de la caldera 11 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-38 muestra que el pH del agua de alimentación de la caldera 11 se encuentra fuera de los límites permisibles (8.5-9.5) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en los días que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-39. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de alimentación de la caldera 11 antes de tratamiento es de 7.83, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.91.

4.7.1.2 Resultados de pH del agua de la caldera

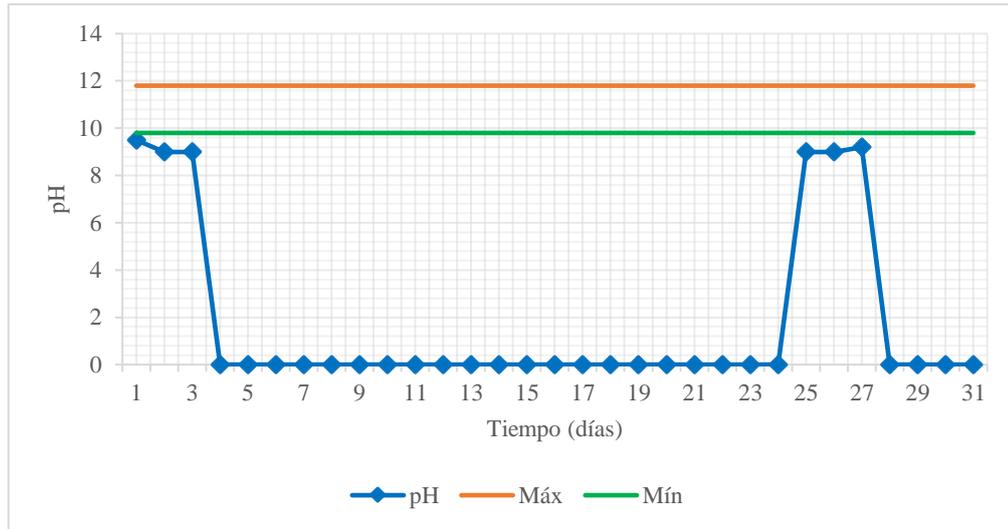


Ilustración 4-40: pH del agua de la caldera 1 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

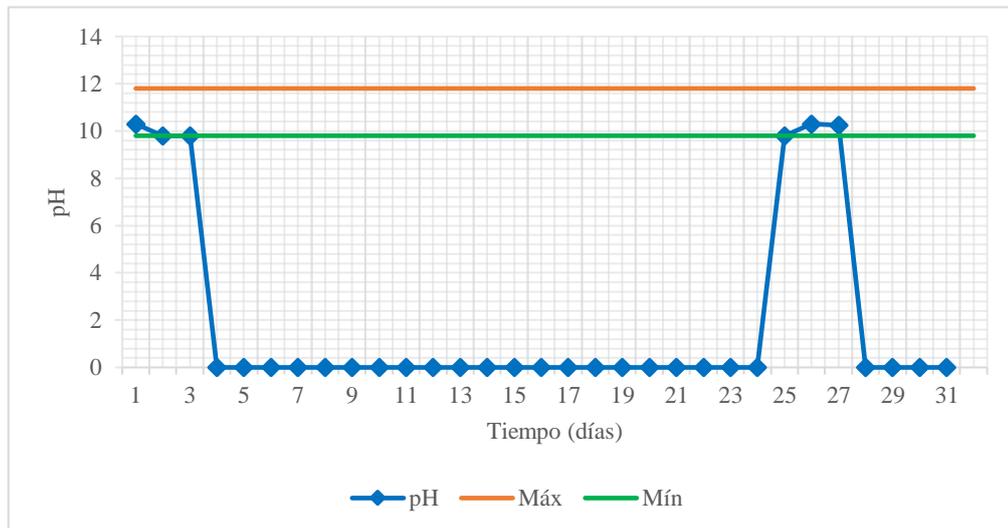


Ilustración 4-41: pH del agua de la caldera 1 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-40 muestra que el pH del agua de la caldera 1 (DOMO) se encuentra fuera de los límites permisibles (9.8-11.8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en los días que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-41. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de la caldera 1 antes de tratamiento es de 9.12, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 10.04.

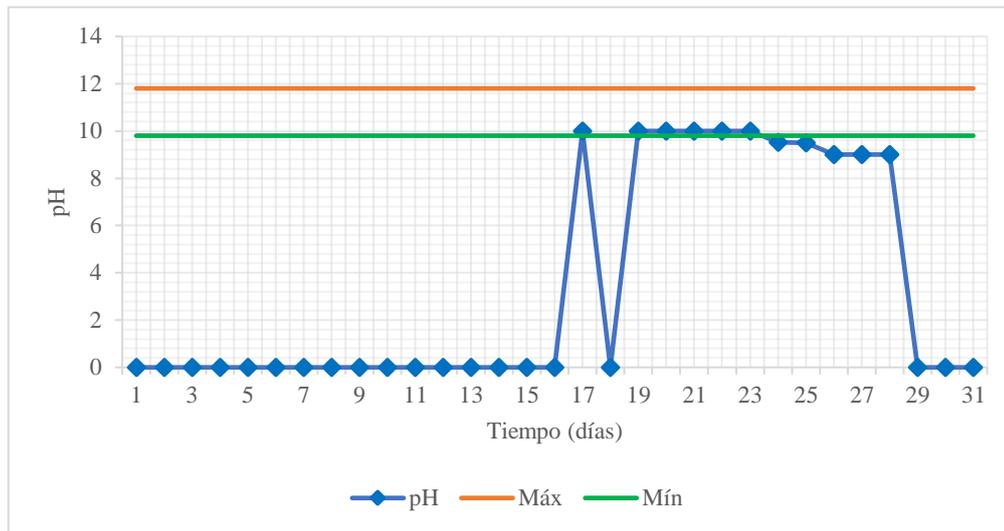


Ilustración 4-42: pH del agua de la caldera 2 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

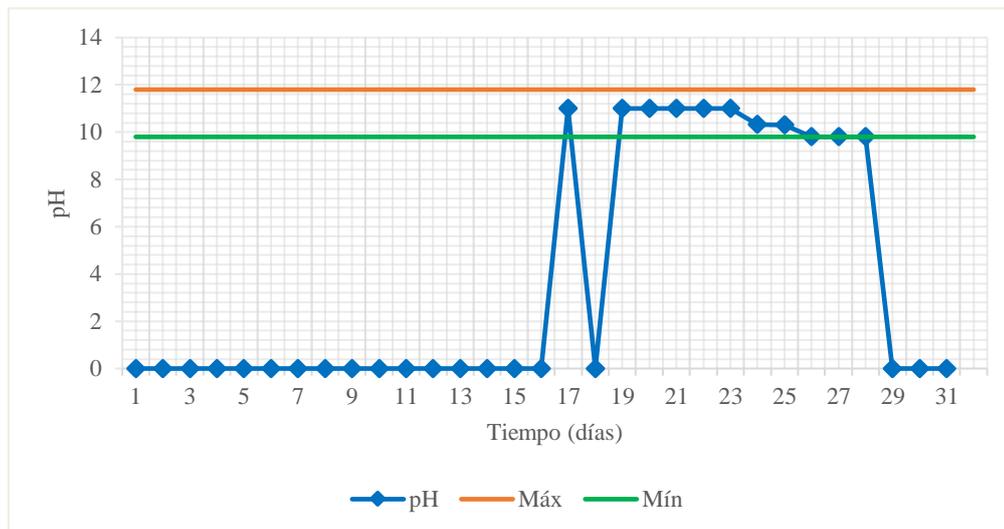


Ilustración 4-43: pH del agua de la caldera 2 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-42 muestra que el pH del agua de la caldera 2 (DOMO) se encuentra fuera de los límites permisibles (9.8-11.8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-43. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de la caldera 2 antes de tratamiento es de 9.64, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 10.55.

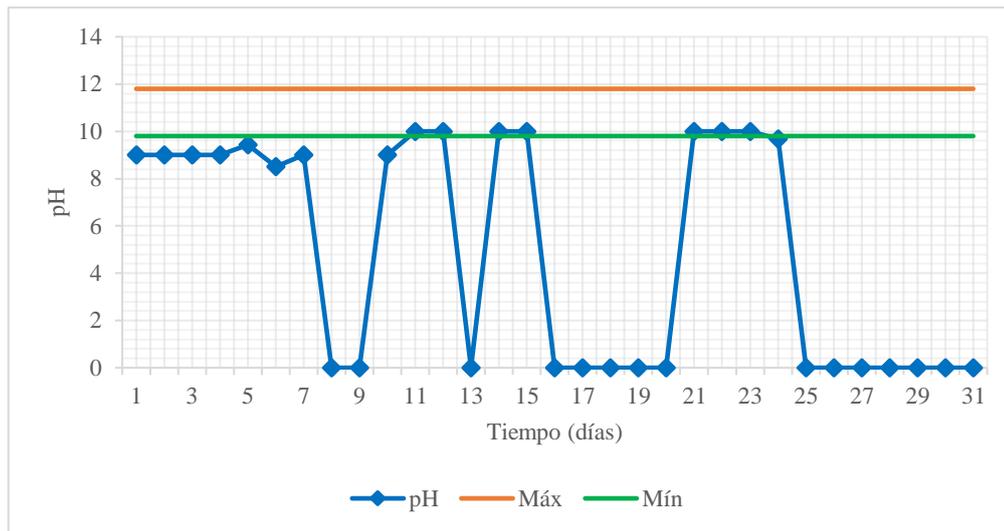


Ilustración 4-44: pH del agua de la caldera 3 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

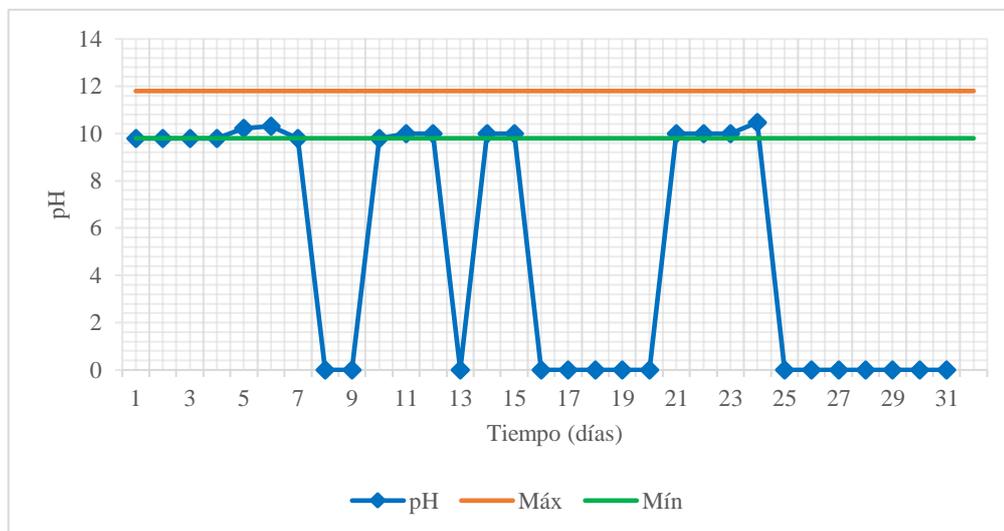


Ilustración 4-45: pH del agua de la caldera 3 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-44 muestra que el pH del agua de la caldera 3 (DOMO) se encuentra fuera de los límites permisibles (9.8-11.8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-45. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de la caldera 3 antes de tratamiento es de 9.48, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 10.

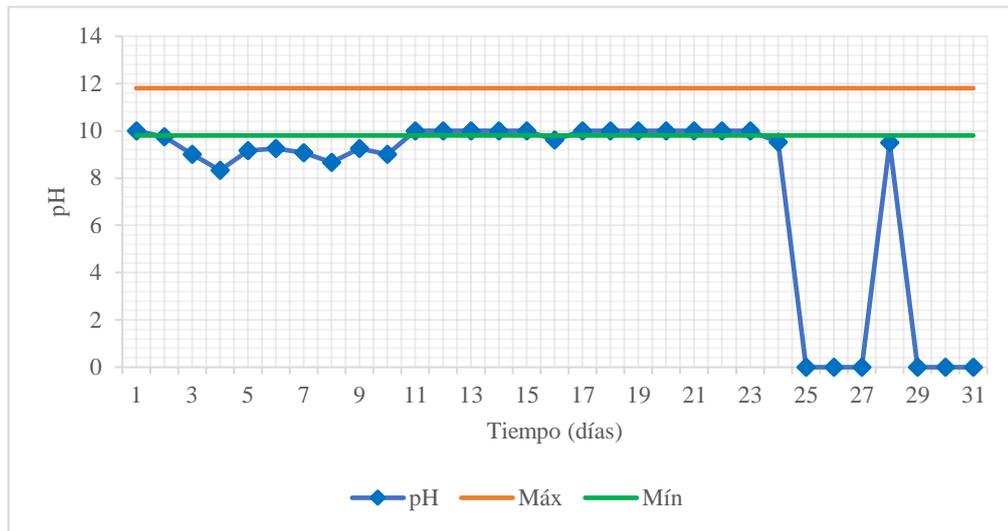


Ilustración 4-46: pH del agua de la caldera 7 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

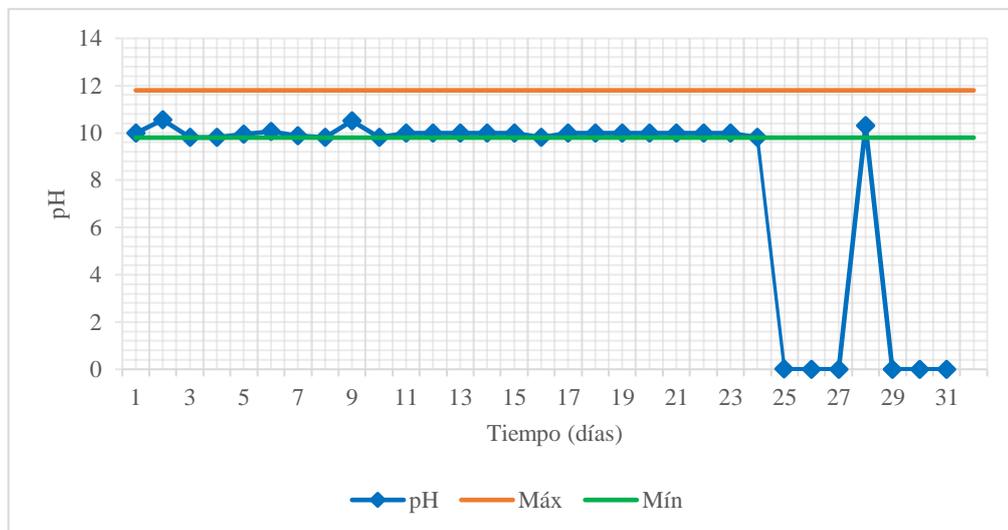


Ilustración 4-47: pH del agua de la caldera 7 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-46 muestra que el pH del agua de la caldera 7 (DOMO) se encuentra fuera de los límites permisibles (9.8-11.8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-47. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de la caldera 7 antes de tratamiento es de 9.60, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 10.

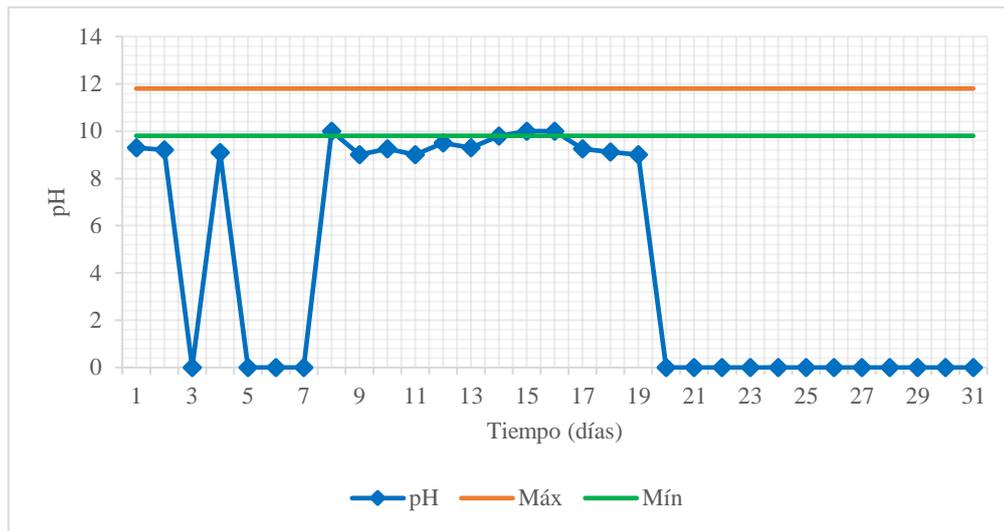


Ilustración 4-48: pH del agua de la caldera 11 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

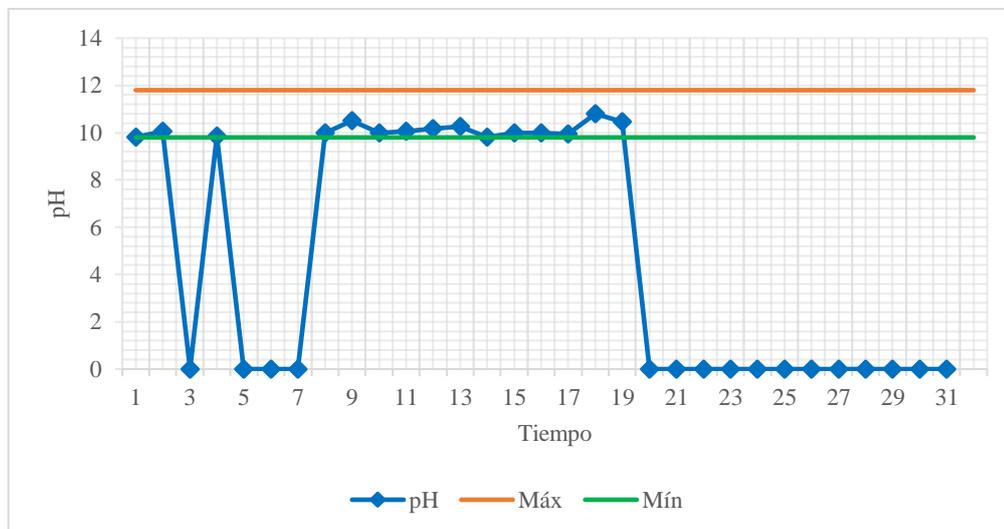


Ilustración 4-49: pH del agua de la caldera 11 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-48 muestra que el pH del agua de la caldera 11 (DOMO) se encuentra fuera de los límites permisibles (9.8-11.8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectuó un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-49. Durante el mes, el valor promedio del pH del agua de la caldera 11 antes de tratamiento es de 9.39, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 10.11.

4.7.1.3 Resultados de pH del vapor sobrecalentado

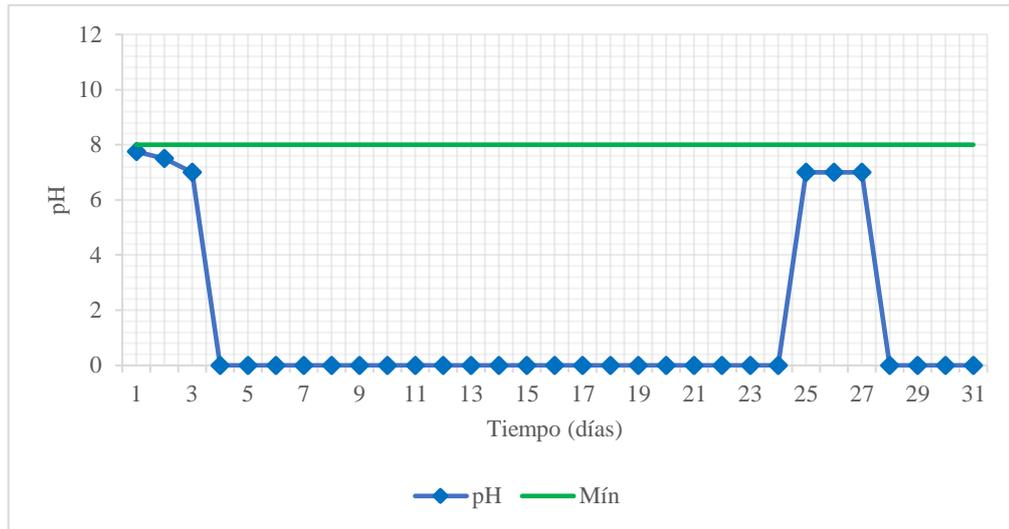


Ilustración 4-50: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 1 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

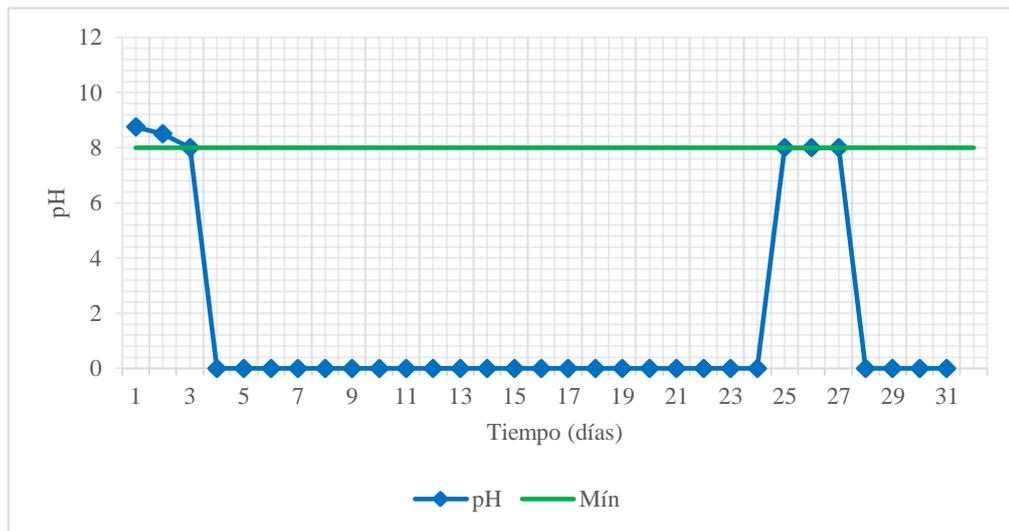


Ilustración 4-51: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 1 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-50 muestra que el pH del vapor sobrecalentado de la caldera 1 se encuentra fuera de los límites permisibles (Mín. 8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en los días que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-51. Durante el mes, el valor promedio del pH del vapor sobrecalentado de caldera 1 antes de tratamiento es de 7.21, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.21.

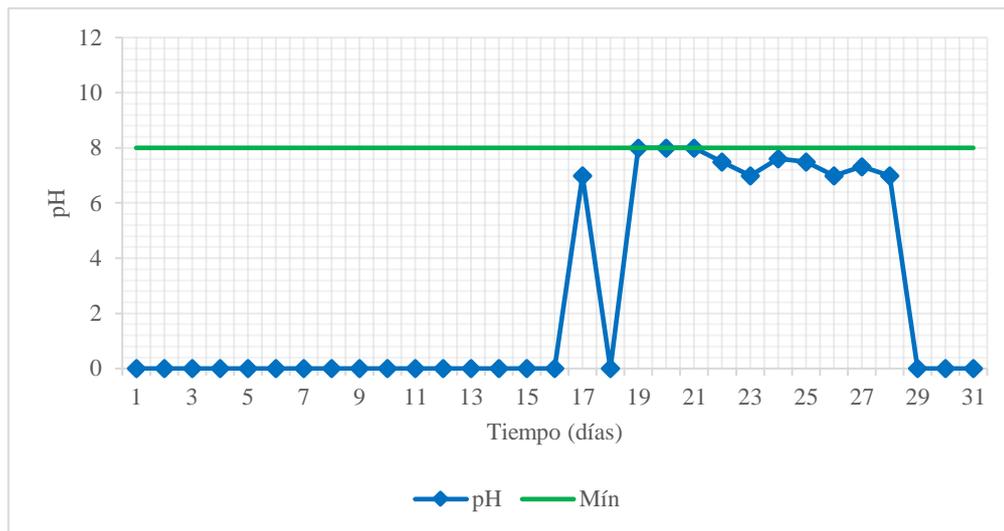


Ilustración 4-52: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 2 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

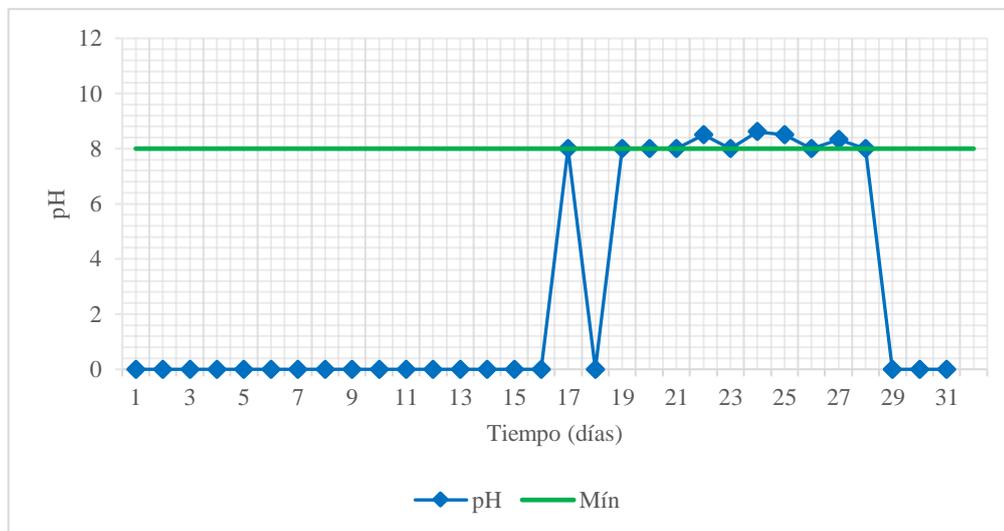


Ilustración 4-53: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 2 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-52 muestra que el pH del vapor sobrecalentado de la caldera 2 se encuentra fuera de los límites permisibles (Mín. 8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectuó un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-53. Durante el mes, el valor promedio del pH del vapor sobrecalentado de caldera 2 antes de tratamiento es de 7.45, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.18.

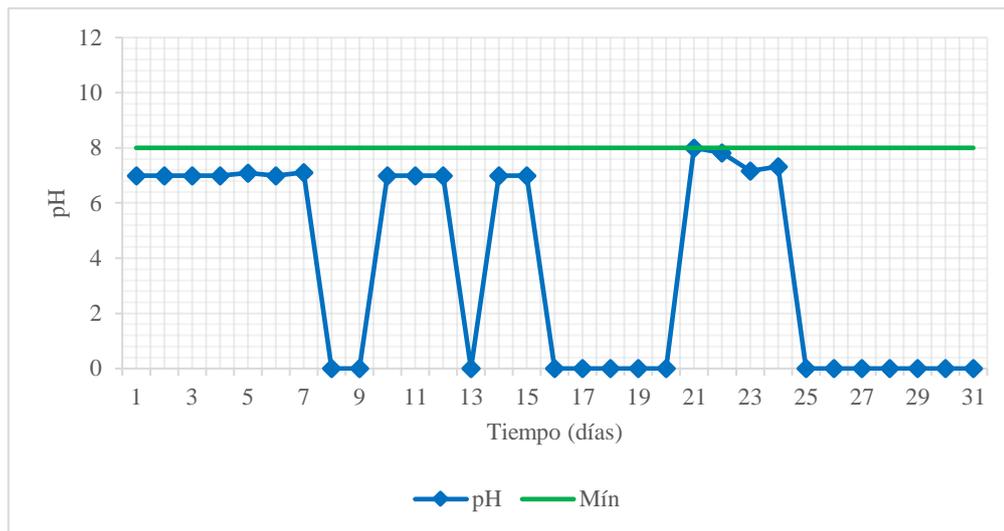


Ilustración 4-54: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 3 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

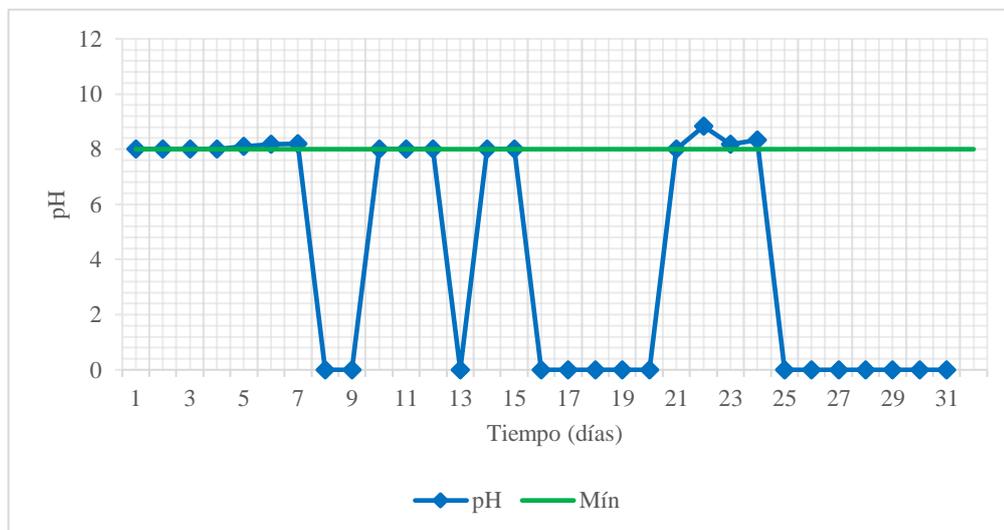


Ilustración 4-55: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 3 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-54 muestra que el pH del vapor sobrecalentado de la caldera 3 se encuentra fuera de los límites permisibles (Mín. 8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectuó un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-55. Durante el mes, el valor promedio del pH del vapor sobrecalentado de caldera 3 antes de tratamiento es de 7.16, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.11.

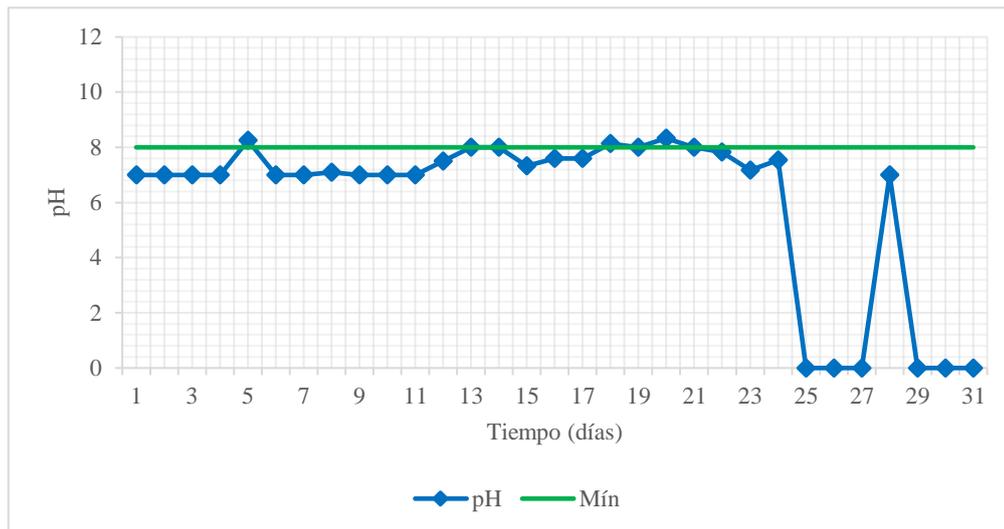


Ilustración 4-56: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 7 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

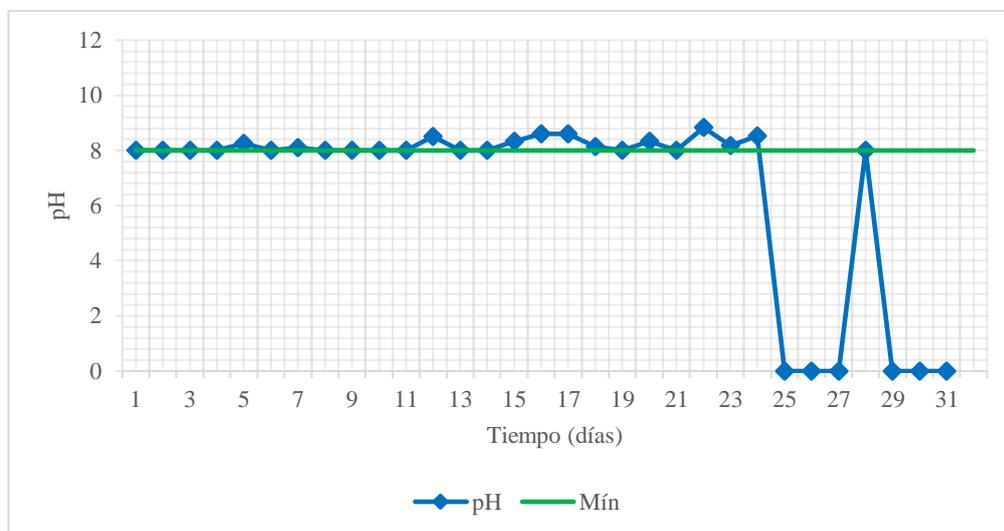


Ilustración 4-57: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 7 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-56 muestra que el pH del vapor sobrecalentado de la caldera 7 se encuentra fuera de los límites permisibles (Mín. 8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectuó un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-57. Durante el mes, el valor promedio del pH del vapor sobrecalentado de caldera 7 antes de tratamiento es de 7.46, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.18.

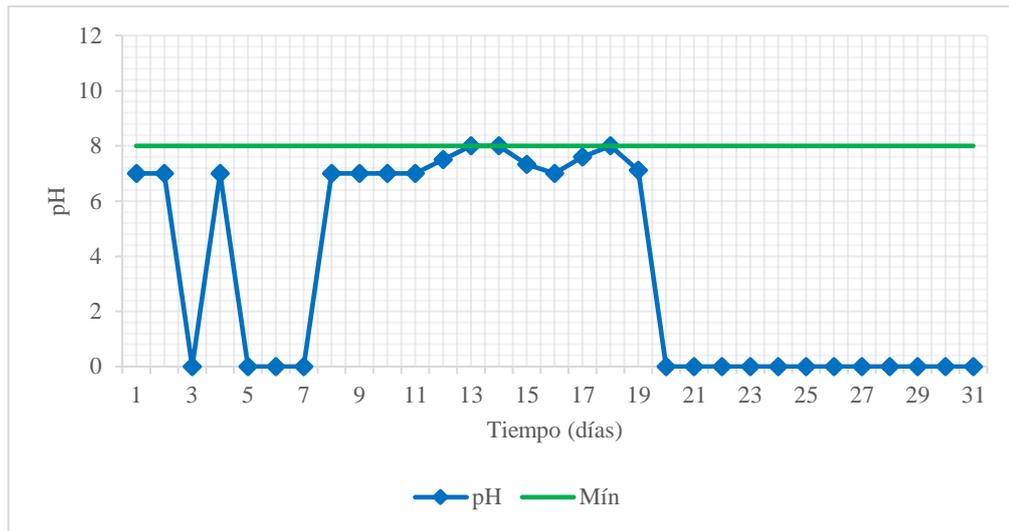


Ilustración 4-58: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 11 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

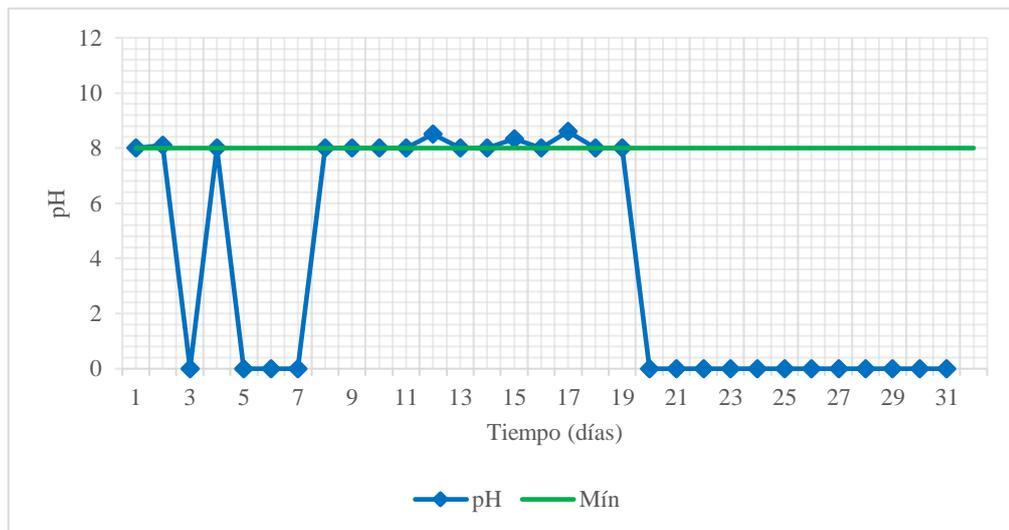


Ilustración 4-59: pH del vapor sobrecalentado de la caldera 11 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-58 muestra que el pH del vapor sobrecalentado de la caldera 11 se encuentra fuera de los límites permisibles (Mín. 8) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-59. Durante el mes, el valor promedio del pH del vapor sobrecalentado de caldera 11 antes de tratamiento es de 7.30, el cual una vez aplicado el tratamiento aumenta a 8.10.

4.7.1.4 Resultados de oxígeno disuelto del agua de alimentación

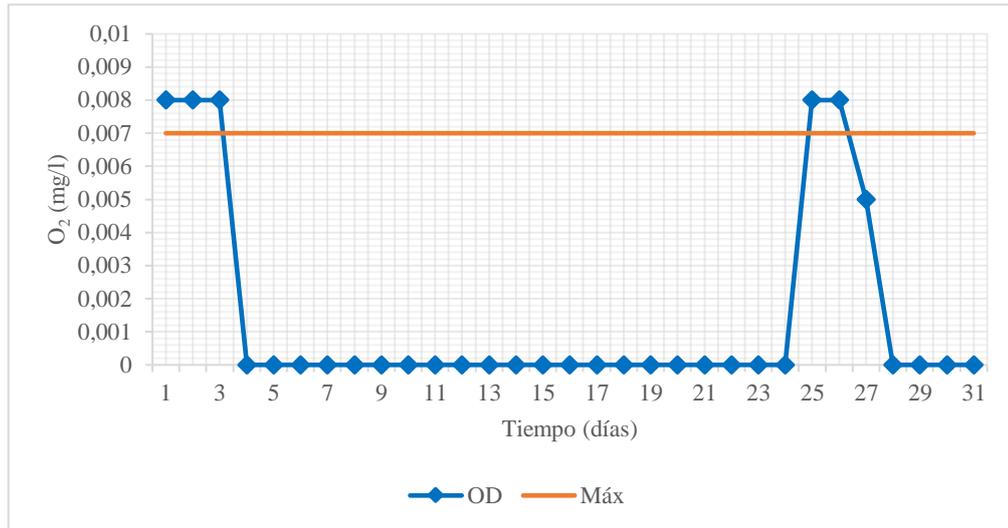


Ilustración 4-60: OD del agua de alimentación de la caldera 1 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

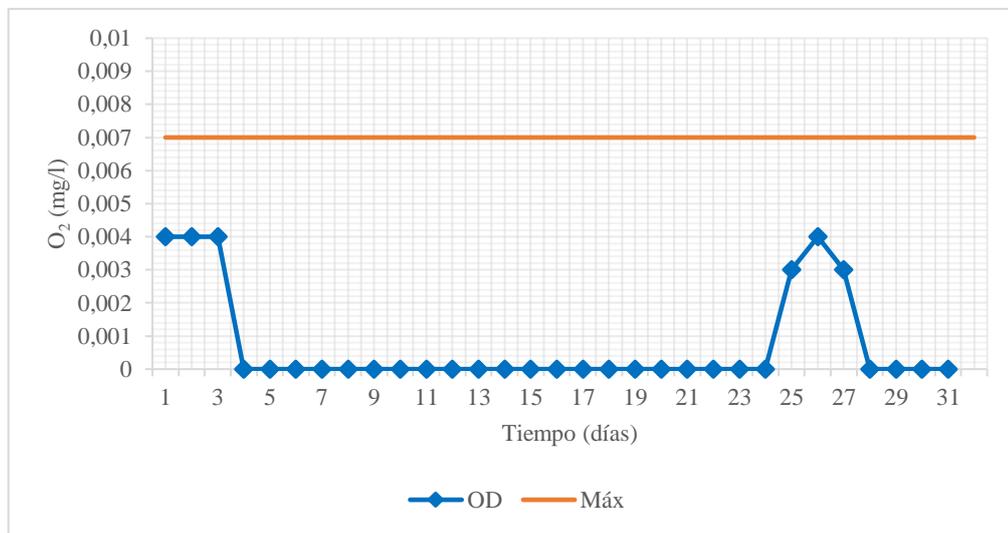


Ilustración 4-61: OD del agua de alimentación de la caldera 1 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-60 muestra que el oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 1 se encuentra fuera de los límites permisibles (Máx. 0.007 mg/l) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-61. Durante el mes, el valor promedio del oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 1 antes de tratamiento es de 0.008 mg/l, el cual una vez aplicado el tratamiento disminuye a 0.004 mg/l.

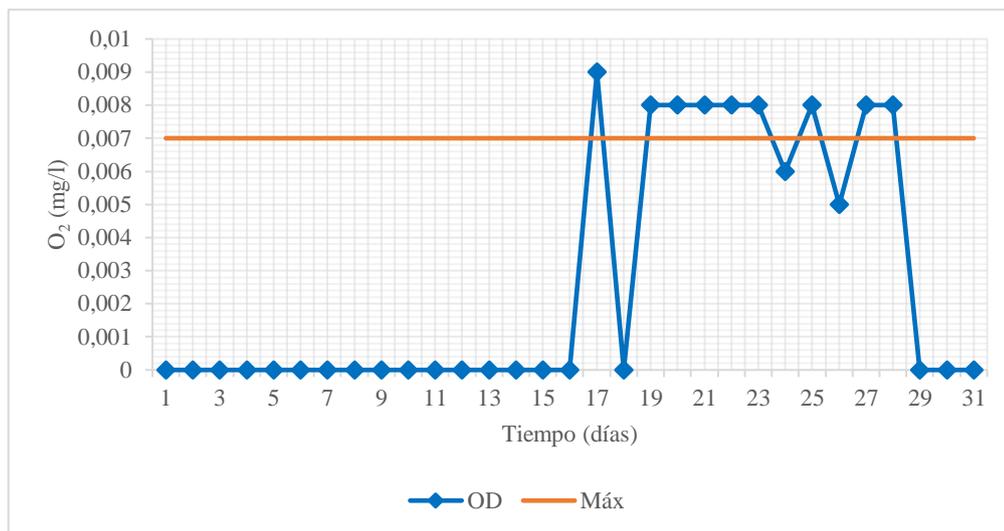


Ilustración 4-62: OD del agua de alimentación de la caldera 2 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

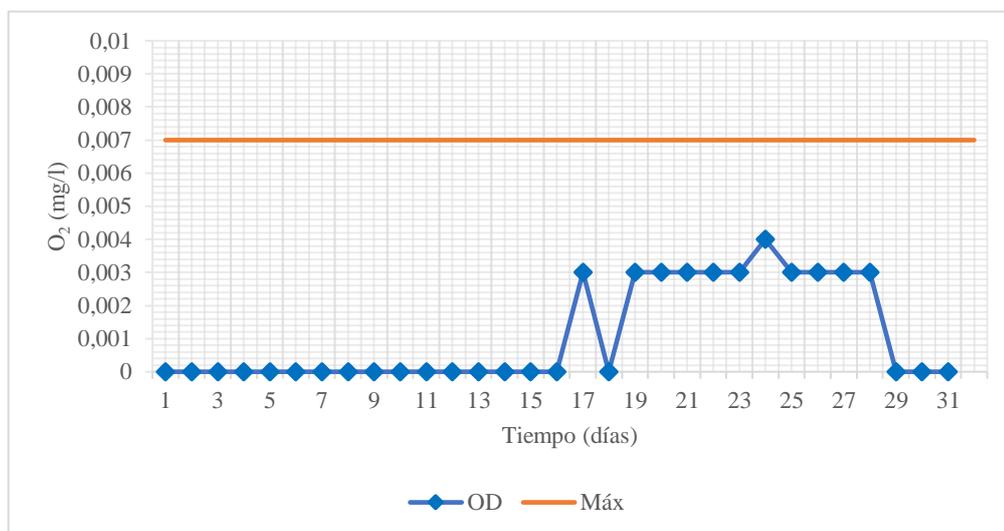


Ilustración 4-63: OD del agua de alimentación de la caldera 2 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-62 muestra que el oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 2 se encuentra fuera de los límites permisibles (Máx. 0.007 mg/l) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectuó un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-63. Durante el mes, el valor promedio del oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 2 antes de tratamiento es de 0.008 mg/l, el cual una vez aplicado el tratamiento disminuye a 0.003 mg/l.

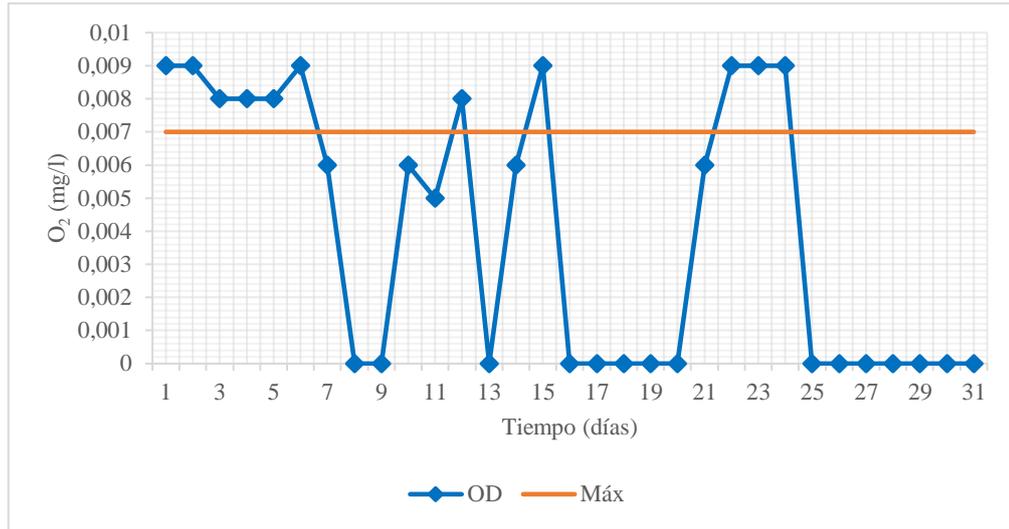


Ilustración 4-64: OD del agua de alimentación de la caldera 3 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

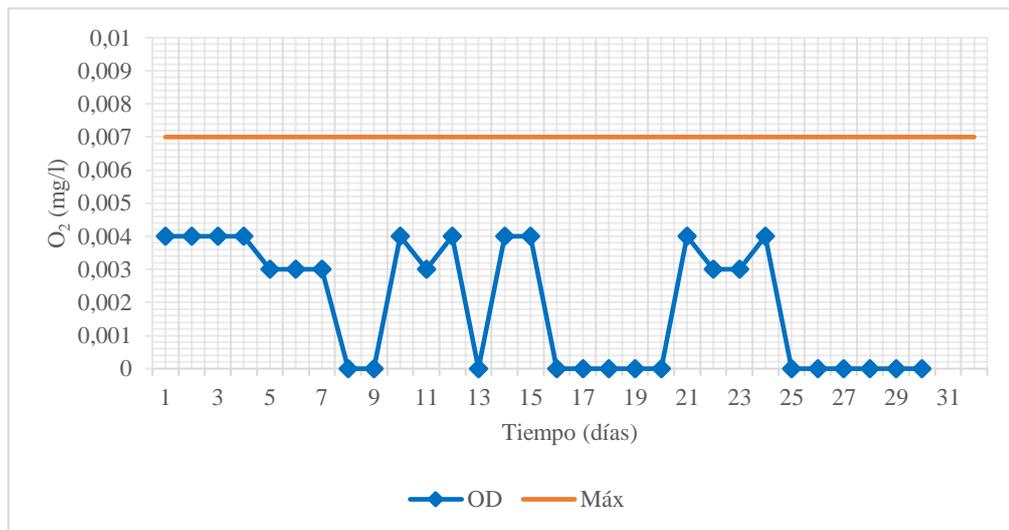


Ilustración 4-65: OD del agua de alimentación de la caldera 3 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-64 muestra que el oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 3 se encuentra fuera de los límites permisibles (Máx. 0.007 mg/l) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectuó un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-65. Durante el mes, el valor promedio del oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 3 antes de tratamiento es de 0.008 mg/l, el cual una vez aplicado el tratamiento disminuye a 0.004 mg/l.

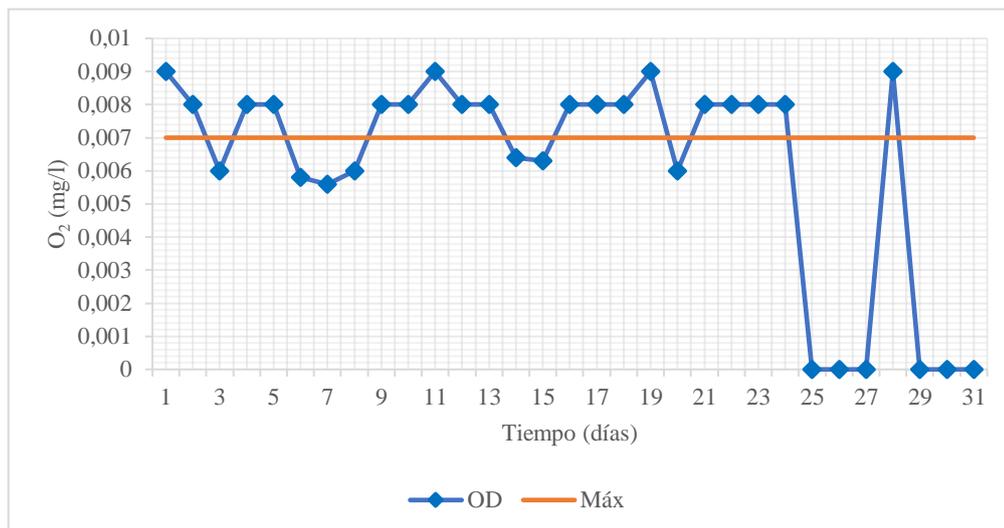


Ilustración 4-66: OD del agua de alimentación de la caldera 7 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

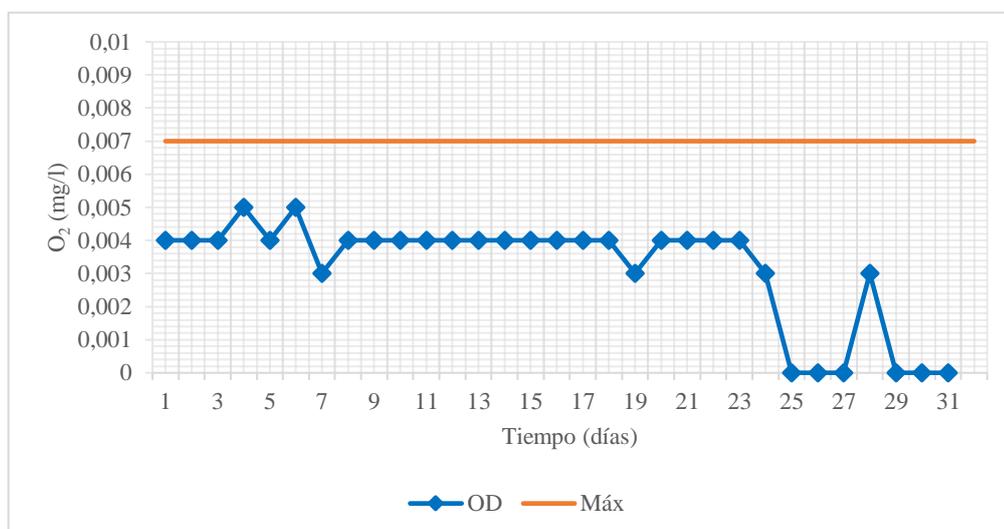


Ilustración 4-67: OD del agua de alimentación de la caldera 7 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-66 muestra que el oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 7 se encuentra fuera de los límites permisibles (Máx. 0.007 mg/l) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectúe un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-67. Durante el mes, el valor promedio del oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 7 antes de tratamiento es de 0.008 mg/l, el cual una vez aplicado el tratamiento disminuye a 0.004 mg/l.

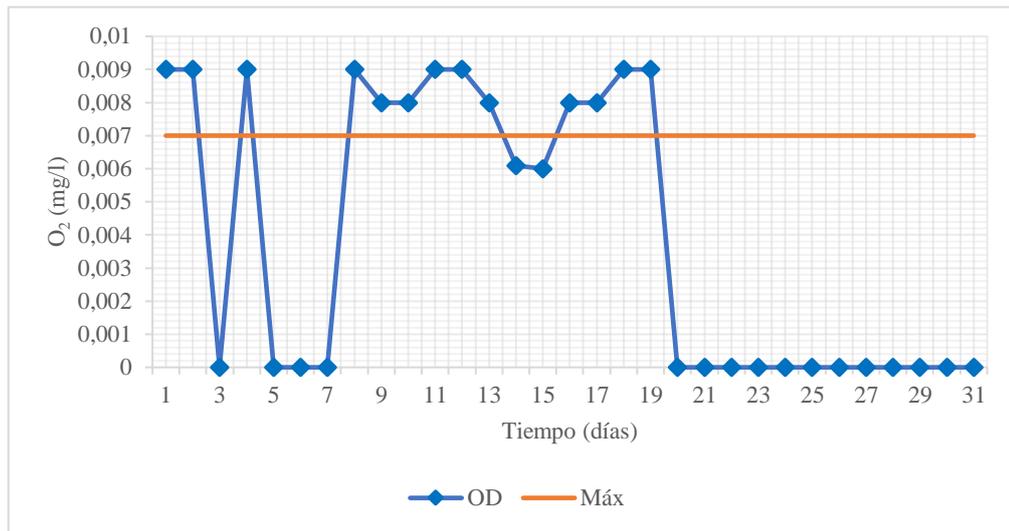


Ilustración 4-68: OD del agua de alimentación de la caldera 11 antes del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

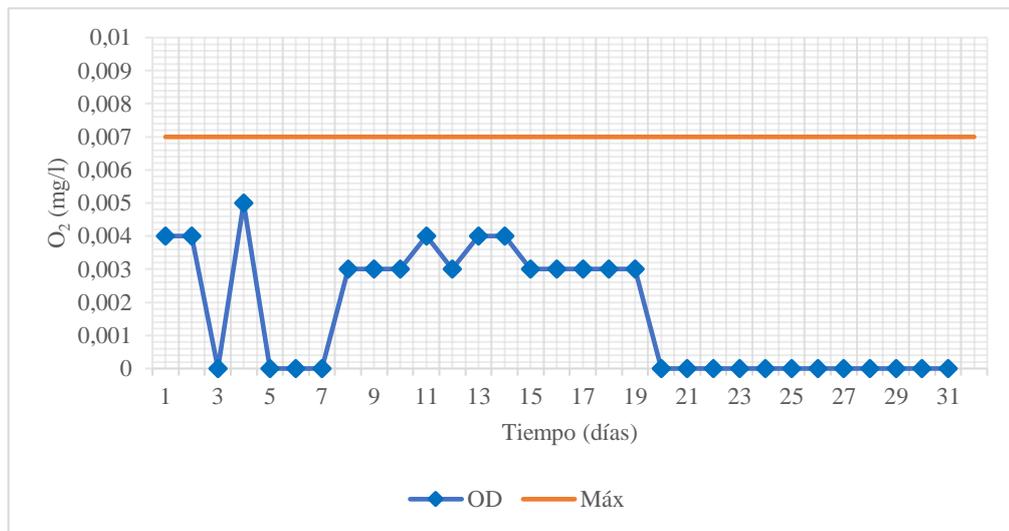


Ilustración 4-69: OD del agua de alimentación de la caldera 11 después del tratamiento

Fuente: Laboratorio de la CTE-II, 2022.

Realizado por: Salamea J., 2022.

La Ilustración 4-68 muestra que el oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 11 se encuentra fuera de los límites permisibles (Máx. 0.007 mg/l) de la normativa (ASME, ABMA 402, etc) en algunos días en que la caldera está en servicio, por lo cual necesita que se efectuó un tratamiento químico para mejorar estos valores como observamos en la Ilustración 4-69. Durante el mes, el valor promedio del oxígeno disuelto del agua de alimentación de la caldera 11 antes de tratamiento es de 0.008 mg/l, el cual una vez aplicado el tratamiento disminuye a 0.003 mg/l.

4.7.1.5 Resumen de los resultados de laboratorio

Tabla 4-21: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 1

Punto de muestreo	Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
	pH	OD	pH	pH
Unidad	-	mg/l	-	-
Rango de control	8.5-9.5	Máx. 0.007	9.8-11.8	Mín. 8
Antes del tratamiento	7.89	0.008	9.12	7.21
Después del tratamiento	8.92	0.004	10.04	8.21

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-22: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 2

Punto de muestreo	Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
	pH	OD	pH	pH
Unidad	-	mg/l	-	-
Rango de control	8.5-9.5	Máx. 0.007	9.8-11.8	Mín. 8
Antes del tratamiento	8.02	0.008	9.64	7.45
Después del tratamiento	9.02	0.003	10.55	8.18

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-23: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 3

Punto de muestreo	Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
	pH	OD	pH	pH
Unidad	-	mg/l	-	-
Rango de control	8.5-9.5	Máx. 0.007	9.8-11.8	Mín. 8
Antes del tratamiento	7.96	0.008	9.48	7.16
Después del tratamiento	8.86	0.004	10	8.11

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-24: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 7

Punto de muestreo	Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
	pH	OD	pH	pH

Unidad	-	mg/l	-	-
Rango de control	8.5-9.5	Máx. 0.007	9.8-11.8	Mín. 8
Antes del tratamiento	7.97	0.008	9.60	7.46
Después del tratamiento	8.99	0.004	10	8.18

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-25: Resultados de los análisis de laboratorio de la caldera 11

Punto de muestreo	Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
Parámetro	pH	OD	pH	pH
Unidad	-	mg/l	-	-
Rango de control	8.5-9.5	Máx. 0.007	9.8-11.8	Mín. 8
Antes del tratamiento	7.83	0.008	9.39	7.30
Después del tratamiento	8.91	0.003	10.11	8.10

Realizado por: Salamea J., 2023.

4.7.2 *Resultados de la simulación*

4.7.2.1 *Caldera 1*

Tabla 4-26: Resultados de la simulación de la caldera 1

Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH	OD	pH	pH
9.01	0.004	10.14	8.29

Realizado por: Salamea J., 2023.

4.7.2.2 *Caldera 2*

Tabla 4-27: Resultados de la simulación de la caldera 2

Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH	OD	pH	pH
9.11	0.00402	10.16	8.26

Realizado por: Salamea J., 2023.

4.7.2.3 Caldera 3

Tabla 4-28: Resultados de la simulación de la caldera 3

Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH	OD	pH	pH
8.95	0.004	10.10	8.19

Realizado por: Salamea J., 2023.

4.7.2.4 Caldera 7

Tabla 4-29: Resultados de la simulación de la caldera 7

Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH	OD	pH	pH
9.08	0.004	10.10	8.26

Realizado por: Salamea J., 2023.

4.7.2.1 Caldera 11

Tabla 4-30: Resultados de la simulación de la caldera 11

Alimentación		Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH	OD	pH	pH
9	0.00404	10.21	8.18

Realizado por: Salamea J., 2023.

En base a los resultados obtenidos de pH y OD en las tablas anteriores de la simulación del sistema automático de dosificación de químicos podemos concluir que cumple con los límites establecidos por la normativa vigente (ASME, ABMA 402, etc) y existe una mejora en el control de muestreo y tiempos de análisis con respecto a las pruebas realizadas a nivel de laboratorio.

4.8 Validación de la simulación

Para la validación de la simulación se debe tener un error porcentual menor al 5% en las variables de interés (pH y oxígeno disuelto) entre el valor definido en bibliografía y el valor obtenido del sistema Ovation y de esta manera asegurar la confiabilidad del proceso del sistema automático de dosificación de químicos para calderas de baja presión.

Para ello, se tomó en cuenta los resultados existentes en el trabajo expuesto por (Ortega Vargas y Quintero Bejarano, 2022) para demostrar su precisión con los resultados del sistema Ovation de las 5 calderas en estudio.

Tabla 4-31: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 1

Variables	Etapas del proceso de dosificación química		
	Alimentación	Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH (Deseado)	9.15	10.25	8.3
pH (Ovation)	9.01	10.14	8.29
Error (%)	1.53005	1.07317	0.12048
OD (Deseado)	0.00405	-	-
OD (Ovation)	0.004	-	-
Error (%)	1.23457	-	-

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-32: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 2

Variables	Etapas del proceso de dosificación química		
	Alimentación	Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH (Deseado)	9.15	10.25	8.3
pH (Ovation)	9.11	10.16	8.26
Error (%)	0.43716	0.87805	0.48193
OD (Deseado)	0.00405	-	-
OD (Ovation)	0.00402	-	-
Error (%)	0.74074	-	-

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-33: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 3

Variables	Etapas del proceso de dosificación química		
	Alimentación	Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH (Deseado)	9.15	10.25	8.3
pH (Ovation)	8.95	10.10	8.19
Error (%)	2.18579	1.46341	1.32530
OD (Deseado)	0.00405	-	-

OD (Ovation)	0.004	-	-
Error (%)	1.23457	-	-

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-34: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 7

Variables	Etapas del proceso de dosificación química		
	Alimentación	Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH (Deseado)	9.15	10.25	8.3
pH (Ovation)	9.08	10.10	8.26
Error (%)	0.76503	1.46341	0.48193
OD (Deseado)	0.00405	-	-
OD (Ovation)	0.004	-	-
Error (%)	1.23457	-	-

Realizado por: Salamea J., 2023.

Tabla 4-35: Errores porcentuales obtenidos del proceso de la caldera 11

Variables	Etapas del proceso de dosificación química		
	Alimentación	Caldera (Domo)	Vapor sobrecalentado
pH (Deseado)	9.15	10.25	8.3
pH (Ovation)	9	10.21	8.18
Error (%)	1.63934	0.39024	1,44578
OD (Deseado)	0.00405	-	-
OD (Ovation)	0.00404	-	-
Error (%)	0.24691	-	-

Realizado por: Salamea J., 2023.

En las anteriores tablas se visualiza los diferentes errores porcentuales obtenidos entre la simulación y el trabajo realizado por (Ortega Vargas y Quintero Bejarano, 2022) para el proceso automatizado de dosificación de químicos para calderas de baja presión en el sistema Ovation cuyos errores no superan el 5% por lo cual se puede validar la presente simulación.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Automatizar los sistemas de naturaleza industrial contribuye de manera significativa a la eficiencia y eficacia a los procesos sustantivos de las organizaciones, en CELE EP con los datos que contaba el laboratorio de la Central Térmica Esmeraldas II se levantó la información necesaria para determinar las dosis de morfina y sulfato de sodio para los tanques de alimentación, los puntos para el muestreo de control y el punto de dosificación química para cada caldera.
- Tras analizar los problemas ocasionados por un control químico inadecuado del agua de alimento a las calderas de la Central Térmica Esmeraldas II, se reafirma la necesidad de diseñar un sistema automático de dosificación química en las calderas, en especial para mantener la vida útil y el rendimiento tanto de la central como de sus equipos auxiliares. En este proyecto, el diseño del sistema se llevó a cabo de acuerdo con las normas locales e internacionales aplicables, así como las condiciones especificadas por la CELEC EP.
- La simulación realizada en el sistema Ovation fue satisfactoria ya que se logró que los valores de las variables de control (pH y OD) del agua y vapor de las 5 calderas de estudio cumplan los límites permisibles establecidos por la normativa vigente (ASME, ABMA 402, etc); para el agua de alimentación se obtuvo valores de: Caldera 1 (9,01 y 0,004 mg/l), Caldera 2 (9,11 y 0,00402 mg/l), Caldera 3 (8,95 y 0,004 mg/l), Caldera 7 (9,08 y 0,004 mg/l), y Caldera 11 (9 y 0,00404 mg/l); para el agua de las calderas se obtuvo valores de: Caldera 1 (10,14), Caldera 2 (10,66), Caldera 3 (10,10), Caldera 7 (10,10), y Caldera 11 (10,21); y para el vapor sobrecalentado se obtuvo valores de: Caldera 1 (8,29), Caldera 2 (8,26), Caldera 3 (8,19), Caldera 7 (8,26), y Caldera 11 (8,18).
- Los resultados obtenidos en la simulación no superan el 5% de error porcentual en comparación con los resultados obtenidos en el trabajo realizado por (Ortega Vargas y Quintero Bejarano, 2022) por tanto se valida cada una de las etapas del proceso del sistema automático de dosificación de químicos calderas de baja presión de la Central Térmica Esmeraldas II.

- Los resultados de las pruebas de laboratorio y simulación fueron satisfactorios y aprobados por el personal del área de control químico de la Central Térmica Esmeraldas II, con la aprobación de las pruebas se identificó y dimensionó todos los equipos que conforman el sistema, que funcionan de acuerdo con las condiciones de diseño para una dosificación química de calidad y fiable para que las calderas y sus circuitos asociados mantengan un funcionamiento correcto.
- De acuerdo con las normativas respectivas y las pruebas de laboratorio y simulación, se elaboró los diagramas P&ID del sistema automático de dosificación química, el cual estará conformado por 4 subsistemas (2 para el control de pH y 2 para el control de oxígeno disuelto), que dosificara las cantidades de morfolina (53,8 l/h y 26,7 l/h) y sulfito de sodio (2,05 l/h y 1,7 l/h) a sus respectivos tanques de agua de alimentación, en conjunto con la instrumentación requerida (transmisores de nivel, bombas dosificadoras, válvulas solenoides, pHmetro online, etc.) controlados por un sistema de control distribuido (Ovation 3.7).

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda que los directivos de la CELEC EP deben evaluar y encabezar los procesos de innovaciones tecnológicas como la automatización de procesos donde se debe manipular sustancias químicas para el tratamiento de agua, así se garantizaría los recursos necesarios para la implementación de los mismos, se evitaría pérdidas o una inadecuada dosificación y se minimizarían los riesgos de los operadores durante el manejo de sustancias químicas.
- Realizar el análisis continuo de los parámetros del circuito principal (pH, oxígeno) por medio de un sistema de muestreo y análisis del agua y vapor, con el fin de verificar el estado del agua de la caldera y de acuerdo a los valores de los parámetros programar los lazos de control para ejecutar la dosificación de los químicos.
- Realizar mantenimientos regulares a las bombas, los equipos auxiliares, las instalaciones, y las tuberías de alimentación y distribución, para que las calderas operen con mayor eficiencia y disminuir los problemas de operación y costos.

GLOSARIO

Bus de campo: Es un sistema de comunicaciones bidireccional, en serie y totalmente digital que interconecta equipos de medición y control, como sensores, actuadores y controladores; que en el nivel básico de la jerarquía de las redes de la planta, sirve como red de área local (LAN) para los instrumentos que se utilizan en aplicaciones de control de procesos y automatización de la fabricación y tiene una capacidad incorporada para distribuir la aplicación de control a través de la red (Mezgár y Kincses, 2001, pp. 337-356).

DCS: EL sistema de control distribuido es un sistema de control industrial automatizado (ICS) digital que utiliza bucles de control distribuidos geográficamente en una fábrica, máquina o área de control con el objetivo de controlar los procesos industriales para aumentar su seguridad, rentabilidad y fiabilidad (Gillis, 2020, p. 1).

DeviceNet: Es un protocolo de red utilizado en la industria de la automatización para interconectar dispositivos de control para el intercambio de datos (Dixon, 2018, p. 2).

HMI: El Interfaz Hombre-Máquina es una combinación de hardware y software de computadora que proporciona una interfaz visual entre un operador humano y un proceso o máquina (Wigmore, 2019, p. 4).

Modbus: Es un protocolo de comunicación de datos que se basa en un modelo de solicitud-respuesta, anteriormente denominado protocolo maestro-esclavo, se utiliza para transmitir información entre dispositivos que están conectados a buses o redes a través de líneas serie o Ethernet y, cada vez más, de forma inalámbrica (Drury, 2009, p. 508).

Módulo E/S: Son componentes críticos de la red industrial que envían señales de entrada desde un dispositivo de campo, como un sensor o actuador, a un controlador, para luego enrutar los comandos de salida desde el controlador de regreso al dispositivo (Greenfield, 2022, p. 1).

Morfolina: Es un compuesto químico orgánico y heterocíclico (tiene grupos funcionales amina y éter), cuya fórmula molecular de la morfolina es C_4H_9NO y se utiliza como inhibidor de la corrosión, aditivo y para sintetizar otros productos químicos (F. Silversmith y Nickon, 2013, p. 313).

SCADA: La Supervisión, Control y Adquisición de Datos es un sistema compuesto por componentes de hardware y software utilizados para monitorear y controlar procesos industriales, donde los usuarios pueden recopilar y analizar datos de producción en tiempo real, monitorear y

administrar alarmas y programar respuestas de control automáticas activadas por ciertos eventos o parámetros del sistema (González, 2019, p. 1).

Sulfito de sodio: Es un compuesto inorgánico, sólido blanco y soluble en agua; cuya fórmula química es Na_2SO_3 , que se utiliza comercialmente como agente eliminador de oxígeno disuelto en agua y como antioxidante y conservante en la industria alimentaria (Johnstone, Mattem y Fernelius, 2007, p. 163).

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABU SHMEIS, Reham M.** *Water Chemistry and Microbiology*. En: CHORMEY, Dotse Selali; et al. (eds.). *Comprehensive Analytical Chemistry: Fundamentals of Quorum Sensing, Analytical Methods and Applications in Membrane Bioreactors*. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier, 2018. ISBN 9780444640642, pp. 1-56.
2. **ALI, Aamer.** *Blowdown Water* [en línea] Berlín, Alemania: Springer, 2014. [Consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-40872-4_2183-1
3. **ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, Miguel.** Diseño y construcción de un sistema de dosificación química para la central de ciclo combinado Los Mina (República Dominicana) (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). (Madrid). 2016. pp. 50-54 Disponible en: <http://hdl.handle.net/11531/16977>
4. **ANDRADE LÓPEZ, Alfredo Arnoldo.** Mantenimiento preventivo para calderas y circuitos de refrigeración en función del tratamiento del agua de alimentación (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. (Guatemala). 2005. pp. 27-40. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0443_M.pdf
5. **ARACHCHIGE, Udara; & SANDUPAMA, Sakuna.** "Purpose of purifying industrial boiler water". *International Journal of Research* [en línea], 2019, (Sri Lanka) 6(4), pp. 634–636. [Consulta: 25 enero 2023]. ISSN 2348-6848. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/332863097_Purpose_of_purifying_industrial_boiler_water
6. **BAHADORI, Alireza.** *Essentials of Oil and Gas Utilities: Process Design, Equipment, and Operations* [en línea]. Houston, Estados Unidos: Gulf Professional Publishing, 2016. [Consulta: 29 julio 2023]. ISBN 978-0-12-803088-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128030882000043>

7. **BAHADORI, Alireza; & VUTHALURU, Hari B.** “Prediction of silica carry-over and solubility in steam of boilers using simple correlation”. *Applied Thermal Engineering* [en línea], 2010, (Países Bajos) 30 (2-3), pp. 250-253. [Consulta: 28 julio 2023]. ISSN 1359-4311. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431109002282>
8. **BAHAMONDES, Pedro A.** *Agua de alimentación de calderas* [en línea]. 2018. [Consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-fichas/trabajadores/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf?sfvrsn=5d93dcf2_0
9. **BAHAMONDES, Pedro A.** *Descripcion de caldera y generadores de vapor* [en línea]. 2006. [Consulta: 26 abril 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/36336671/Descripcion_de_caldera_y_generadores_de_vapor
10. **BOLTON, W.** *Control Systems* [en línea]. Oxford: Newnes, 2002. [Consulta: 26 abril 2022]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780750654616500076>
11. **CELEC EP.** *Central Térmica Esmeraldas II* [en línea]. 2020. [Consulta: 26 abril 2022]. Disponible en: <https://www.celec.gob.ec/termoesmeraldas/index.php/central-termica-esmeraldas-ii>.
12. **CENGEL, Yunus A.; & BOLES, Michael A.** *Termodinámica*. 7ª ed. México: McGraw-Hill, 2015. ISBN 9786071507433, pp. 115-129.
13. **COLCHA CAMBAL, Alvaro Luis.** Diseño de un sistema para el tratamiento del agua de alimentación a la caldera para prevenir la corrosión en la Planta de Lácteos de Tunshi (Trabajo de titulación). [en línea] Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química (Riobamba- Ecuador). 2013. pp. 38-52. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3213>
14. **DEY, Raktima; & LEWIS, Sophie C.** *Natural disasters linked to climate change*. En: Letcher, Trevor M. (ed.). *The Impacts of Climate Change: A Comprehensive Study of Physical, Biophysical, Social, and Political Issues*. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier, 2021. ISBN 9780128223734, pp. 177-193.

15. **DIESTRA SÁNCHEZ, Segundo Nicolás.** Automatización de calderas industriales mediante el uso de autómatas programables (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería en Energía. (Nuevo Chimbote-Perú). 2009. p. 2. [Consulta: 26 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2944>
16. **DIXON, Mary.** *What is DeviceNet?* [en línea]. 2018. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://realpars.com/devicenet/>
17. **DRURY, B.** *Control techniques drives and controls handbook.* 2ª ed. Londres, Reino Unido: Institution of Engineering and Technology, 2009. ISBN 978-1-84919-013-8, p. 508.
18. **DUNN, Thomas.** *Manufacturing Flexible Packaging: Materials, Machinery, and Techniques* [en línea]. Norwich, Estados Unidos: William Andrew Publishing, 2015. [Consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323264365000102>
19. **EMERSON ES.** *Sistema de control distribuido Ovation* [en línea]. 2015. [Consulta: 29 julio 2023] Disponible en: <https://www.emerson.com/es-es/automation/control-and-safety-systems/distributed-control-systems-dcs/ovation-distributed-control-system>
20. **F. SILVERSMITH, Ernest; & NICKON, Alex.** *Organic Chemistry: The Name Game: Modern Coined Terms and Their Origins.* Oxford, Reino Unido: Pergamon, 2013. ISBN 978-1483112817, p. 313.
21. **GALLO SALAZAR, Jorge Fernando.** Estudio técnico de la automatización del sistema de calderas de la Central Térmica Esmeraldas II (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ciencias y Tecnología (Quito – Ecuador). 2018. p. 19 Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15960>
22. **GILLIS, Alexander.** *What is a DCS?* [en línea]. 2020. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/distributed-control-system>
23. **GONZÁLEZ, Daniela.** *What is SCADA and how its used in Manufacturing* [en línea]. 2019. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://processsolutions.com/understanding-scada-and-what-it-can-do-for-you/>

24. **GREENFIELD, David.** *The Differences Between Local and Remote I/O.* *Automation World* [en línea]. 2022. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://www.automationworld.com/communication/article/22105893/the-differences-between-local-and-remote-io>
25. **GREGERSEN, Erik.** *pH meter | Definition, Principle, & Facts* [en línea]. 2021. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/pH-meter>
26. **GUBITOSI, Miguel; & TZOVANIS, Nicolás.** Control automático de pH y cloro para piletas (Proyecto Final de Grado). [en línea] Instituto Tecnológico Buenos Aires, Escuela de Tecnología, Ingeniería Electrónica. (Buenos Aires-Argentina). 2011. pp. 10-15. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/161>
27. **HACH LANGE.** *Medición de oxígeno disuelto en centrales de energía - Agua* [en línea]. 2014. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/123366-Medicion-de-oxigeno-disuelto-en-centrales-de-energia.html>
28. **HACH.** *Conductímetro en línea* [en línea]. 2019. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/hach/product-14401-492603.html>
29. **HALL, Stephen.** *Rules of Thumb for Chemical Engineers* [en línea]. 5ª ed. Waltham, Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 2012. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123877857/rules-of-thumb-for-chemical-engineers>
30. **HANNA.** *Medición del oxígeno disuelto* [en línea]. 2018. [Consulta: 26 abril 2022]. Disponible en: <https://www.hannainst.es/blog/83/medicion-del-oxigeno-disuelto>
31. **HASANUZZAMAN, M.; et al.** *Energy demand.* En: HASANUZZAMAN, Maryland; & RAHIM, Nasrudín Abd (eds.). *Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management.* Londres, Reino Unido: Academic Press, 2020. ISBN 9780128146453, pp. 41-47

32. **JOHNSTONE, H.F.; et al.** *Inorganic Syntheses* [en línea]. New York, United States : McGraw-Hill, 2007 . [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470132333.ch49>
33. **KIRMANI, Farzain Ud Din; et al.** “Analyzing the effect of steam quality and injection temperature on the performance of steam flooding”. *Energy Geoscience* [en línea], 2021, (China) 2(1), pp. 83-86. [Consulta: 29 julio 2023]. ISSN 2666-7592. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666759220300718>
34. **KYBERD, Pedro.** *Making Hands:A History of Prosthetic Arms* [en línea]. Massachusetts, Estados Unidos: Academic Press, 2022. [Consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128205440/making-hands>
35. **METTLER TOLEDO.** *Sensor de conductividad / Sonda de conductividad / Electrodo de conductividad* [en línea]. 2019. [Consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: <https://www.mt.com/es/es/home/products/Process-Analytics/conductivity-resistivity-analyzers/conductivity-sensor.html?page=14>
36. **METTLER TOLEDO.** *Sonda de pH en línea / sensor de pH en línea* [en línea]. 2018. [Consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: [https://www.mt.com/es/es/home/products/Process-Analytics/pH-probe/in-line-pH-probe.html?filter\[medio%2Faplicaci%C3%B3n-principal\]=Agua%2Fvapor%20de%20centrales%20el%C3%A9ctricas](https://www.mt.com/es/es/home/products/Process-Analytics/pH-probe/in-line-pH-probe.html?filter[medio%2Faplicaci%C3%B3n-principal]=Agua%2Fvapor%20de%20centrales%20el%C3%A9ctricas)
37. **METTLER TOLEDO.** *Transmisor M800 multicanal y multiparamétrico* [en línea]. 2020. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: [https://www.mt.com/mx/es/home/products/Process-Analytics/transmitter/multi-parameter-digital-transmitter-M800.html?filter\[familia-de-modelos\]=M800 Process&filter\[familia-de-modelos\]=M800 Water](https://www.mt.com/mx/es/home/products/Process-Analytics/transmitter/multi-parameter-digital-transmitter-M800.html?filter[familia-de-modelos]=M800 Process&filter[familia-de-modelos]=M800 Water)
38. **MEZGÁR, István; & KINCSES, Zoltán .** *Secure Communication in Distributed Manufacturing Systems*. En: GUNASEKARAN, A. (ed.). *Agile Manufacturing: The 21st Century Competitive Strategy*. Oxford, Reino Unido: Elsevier Science Ltd, 2001. ISBN 978-0-08-043567-1, pp. 337–356.

39. **MORAN, Seán.** *An Applied Guide to Water and Effluent Treatment Plant Design* [en línea]. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier, 2018. [Consulta: 28 julio 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128113097/an-applied-guide-to-water-and-effluent-treatment-plant-design>
40. **ORTEGA VARGAS, Iseth; & QUINTERO BEJARANO, Mauricio.** *Diseño de un sistema para la automatización de la preservación humedad de una caldera de recuperación de calor para la planta termoeléctrica prime Termovalle* (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería. (Cali-Colombia). 2022. p. 41. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/44830/iortegav.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
41. **PETRUCCI, Ralph H., et al.** *Química General*. 10ª ed. Madrid, España: Prentice Hall, 2011. ISBN 978-84-8322-680-3, pp. 511-513.
42. **PULSAFEEDER.** *Bombas de diafragma accionadas hidráulicamente - Serie Pulsa* [en línea]. 2021. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: <https://www.pulsa.com/pulsa-series-hydraulic-diaphragm-pumps/>
43. **REHMAN, F.U.; et al.** “Centralized Control System Design for Underwater Transportation using two Hovering Autonomous Underwater Vehicles (HAUVs)”. IFAC-PapersOnLine [en línea], 2019, (Reino Unido) 52(11), pp. 13-18. [Consulta: 29 julio 2023]. ISSN 2405-8963. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319307402>
44. **RENOVETEC.** *Calderas HRSG* [En línea]. 2012. [Consulta: 26 abril 2022]. Disponible en: <https://cicloscombinados.com/index.php/articulos/articulos-avanzados/calderas-hrsg>.
45. **SMITH, Carlos A.; & CORRIPIO, Armando B.** *Control automático de procesos : Teoría y práctica*. México: Limusa, 2014. ISBN 9786070507212, pp. 2-10.
46. **TERMOESMERALDAS.** *CELEC EP: Diciembre 2020* [En línea]. 2020. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://www.celec.gob.ec/termoesmeraldas/index.php/49-ley-de-transparencia-2020/249-nov-2020>

47. **TYUSENKOV, A.S.; & CHEREPASHKIN, S.E.** “Scale inhibitor for boiler water systems”. *Russian Journal of Applied Chemistry* [en línea], 2014, (Estados Unidos) 87(9), pp. 1240-1245. [Consulta: 28 julio 2023]. ISSN 10704272. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1070427214090080>
48. **VAKKILAINEN, Esa Kari.** *Steam Generation from Biomass: Construction and Design of Large Boilers*. Ámsterdam, Países Bajos: Butterworth-Heinemann, 2017a. ISBN 978-0-12-804389-9, pp. 180–202.
49. **VAKKILAINEN, Esa Kari.** *Steam Generation from Biomass: Construction and Design of Large Boilers*. Ámsterdam, Países Bajos: Butterworth-Heinemann, 2017b. ISBN 978-0-12-804389-9, pp. 57–86.
50. **WIGMORE, Ivy.** *Human-Machine Interface (HMI)* [en línea]. 2019. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/human-machine-interface-HMI>.
51. **WORRELL, Ernst.** *Industrial Energy Use, Status and Trends* . En: CLEVELAND, Cutler J. (ed.). *Encyclopedia of Energy*. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier, 2004. ISBN 9780121764807, pp. 395–406.
52. **ZHUIYKOV, Serge.** *Nanostructured Semiconductor Oxides for the Next Generation of Electronics and Functional Devices: Properties and Applications*. Oxford, Reino Unido: Woodhead Publishing, 2014. ISBN 978-0-08-101919-1, pp. 475–538.



ANEXOS

ANEXO A: MSDS DE LA MORFOLINA

Sigma-Aldrich. www.sigmaaldrich.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD Versión 8.1
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006 Fecha de revisión 28.03.2021
GENERIC FLUORIDES - NO COUNTRY SPECIFIC DATA Fecha de impresión 17.01.2021

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o de la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto
Nombre del producto : Morfolina para síntesis
Referencia : 8.06127
Artículo número : 806127
Marca : Millipore
No. Índice : 613-028-00-9
REACH No. : 01-2119496057-30-XXXX
No. CAS : 110-91-8

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconejados
Usos identificados : Producto químico para síntesis

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad
Compañía : MERCK PERUANA S.A. PE
Av. Los Frutales 220
3 LIMA
PERU
Teléfono : +51 1 618-7500
Fax : +51 1 437-2955

1.4 Teléfono de emergencia
Teléfono de Urgencia : +(51)-17071295 (CHEMTREC Peru) En caso de urgencias: acúdase al Centro de Salud más cercano.

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla
Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008
Líquidos inflamables (Categoría 3), H226
Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4), H302
Toxicidad aguda, Inhalación (Categoría 3), H331
Toxicidad aguda, Cutánea (Categoría 3), H311
Corrosión cutánea (Sub-categoría 1B), H314
Lesiones oculares graves (Categoría 1), H318
Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

Página 1 de 12

Millipore 806127
The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Pictograma 

Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro
H226 Líquidos y vapores inflamables.
H302 Nocivo en caso de ingestión.
H311 + H331 Tóxico en contacto con la piel o si se inhala.
H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Declaración(es) de prudencia
P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
P280 Llevar guantes/ ropa de protección/ equipo de protección para los ojos/ la cara/ los oídos.
P301 + P312 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/ médico si la persona se encuentra mal.
P303 + P361 + P533 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua.
P304 + P340 + P310 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/ médico.
P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

Declaración Suplementaria del Peligro ninguno(a)

Etiquetado reducido (<= 125 ml)

Pictograma 

Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro
H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H311 + H331 Tóxico en contacto con la piel o si se inhala.

Declaración(es) de prudencia
P280 Llevar guantes/ ropa de protección/ equipo de protección para los ojos/ la cara/ los oídos.
P303 + P361 + P533 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua.
P304 + P340 + P310 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/

Página 2 de 12

Millipore 806127
The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



P305 + P351 + P338

médico.
EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

Declaración Suplementaria del Peligro ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (VPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula : C4H9NO
Peso molecular : 87,12 g/mol
No. CAS : 110-91-8
No. CE : 203-815-1
No. Índice : 613-028-00-9

Componente	Clasificación	Concentración
Morfina		
No. CAS	110-91-8	Flam. Liq. 3; Acute Tox. 4;
No. CE	203-815-1	Acute Tox. 3; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; H226, H502, H331, H311, H314, H318
No. Índice	613-028-00-9	<= 100 %

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales

El socorrista necesita protegerse a sí mismo. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado

Tras inhalación: aire fresco. Llamar inmediatamente al médico. Tras parada respiratoria: inmediatamente respiración instrumental. Aplicar oxígeno en caso necesario.

En caso de contacto con la piel

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ducharse. Llame inmediatamente al médico.

En caso de contacto con los ojos

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Llamar inmediatamente al oftalmólogo. Retirar las lentillas.

30Eper- 8.00127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 3 de 12



Por ingestión

Tras ingestión: hacer beber agua (máximo 2 vasos), evitar el vómito (peligro de perforación). Llame inmediatamente al médico. No proceder a pruebas de neutralización.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Agua Espuma Dióxido de carbono (CO2) Polvo seco

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Oxidos de carbono

Oxidos de nitrógeno (NOx)

Inflamable.

El fuego puede provocar emanaciones de:

óxidos de nitrógeno

Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo.

En caso de calentamiento puedan producirse mezclas explosivas con el aire.

En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Permanencia en el área de riesgo sólo con sistemas de respiración artificiales e independientes del ambiente. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada.

5.4 Otros datos

Separar el recipiente de la zona de peligro y refrigerarlo con agua. Reprimir los gases/vapores/neblinas con agua pulverizada. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: No respirar los vapores, aerosoles. Evitar el contacto con la sustancia. Asegúrese una ventilación apropiada. Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, con suite con expertos. Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. Riesgo de explosión.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames. Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger cuidadosamente

30Eper- 8.00127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 4 de 12



con agentes absorbentes de líquidos, p.ej. Chemizorb®. Añadir a residuos a tratar. Aclarar.

- 6.4 Referencia a otras secciones**
Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura

Trabajar bajo campana extractora. No inhalar la sustancia/la mezcla. Evitese la generación de vapores/aerosoles.

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión

Mantener apartado de las llamas abiertas, de las superficies calientes y de los focos de ignición. Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas.

Medidas de higiene

Sustituir inmediatamente la ropa contaminada. Protección preventiva de la piel. Lavar cara y manos al término del trabajo. Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición. Mantenerlo encerrado en una zona únicamente accesible por las personas autorizadas o calificadas.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

7.3 Usos específicos finales

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara

Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE). Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro

Protección de la piel

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)
Sumerción
Material: goma butílica

Millipore-8.00127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 5 de 12



espesura mínima de capa: 0,7 mm

Tiempo de penetración: ≤ 80 min

Material probado: Butoject® (KCL 898)

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Salpicaduras

Material: Vitón®

espesura mínima de capa: 0,7 mm

Tiempo de penetración: 60 min

Material probado: Vitoject® (KCL 890 / Aldrich Z677698, Talla M)

Protección Corporal

Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama.

Protección respiratoria

Tipo de Filtro recomendado: Filtro A

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Estos medidas deben ser documentados debidamente.

Control de exposición ambiental

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. Riesgo de explosión.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- | | |
|--|--|
| a) Aspecto | Forma: líquido
Color: incoloro |
| b) Olor | amoniacal desagradable |
| c) Umbral olfativo | Sin datos disponibles |
| d) pH | 10,6 a 5 g/l a 20 °C |
| e) Punto de fusión/
punto de congelación | Punto/intervalo de fusión: -7 - -5 °C |
| f) Punto inicial de
ebullición e intervalo
de ebullición | 127 - 129 °C a 1.013,25 hPa |
| g) Punto de inflamación | 31 °C - copa cerrada |
| h) Tasa de evaporación | Sin datos disponibles |
| i) Inflamabilidad
(sólido, gas) | Sin datos disponibles |
| j) Inflamabilidad
superior/inferior o
límites explosivos | Límite superior de explosividad: 10,8 %(v)
Límites inferior de explosividad: 1,8 %(v) |
| k) Presión de vapor | 9,33 hPa a 20 °C
41,32 hPa a 36 °C |

Millipore-8.00127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 6 de 12



l) Densidad de vapor	3,01 - (Aire = 1.0)
m) Densidad relativa	1,001 a 20 °C
n) Solubilidad en agua	totalmente miscible
o) Coeficiente de reparto n-octano/agua	log Pow: -2,55 a 25 °C - No es de esperar una bioacumulación.
p) Temperatura de auto-inflamación	255 °C a 1.013 hPa - DIN 51794
q) Temperatura de descomposición	> 330 °C -
r) Viscosidad	Viscosidad, cinemática: 2,2 mm ² /s a 20 °C Viscosidad, dinámica: 2,23 mPa.s a 20 °C
s) Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	Sin datos disponibles

9.2. Otra información de seguridad

Constante de disociación	8,49 a 25 °C
Densidad relativa del vapor	3,01 - (Aire = 1.0)

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Las mezclas vapor/agua son explosivas con un calentamiento intenso.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacción exotérmica con:

Agentes oxidantes fuertes

Nitritos

Ácidos

(Cuidado: En contacto con nitritos, nitratos, ácido nítrico posible liberación de nitrosaminas)

10.4 Condiciones que deben evitarse

Calentamiento.

10.5 Materiales incompatibles

Aluminio, metales cromácicos

10.6 Productos de descomposición peligrosos

En caso de incendio: véase sección 5

30Egger-0.00127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 7 de 12



SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - machos y hembras - 1.900 mg/kg

(Directrices de ensayo 401 del OECD)

Síntomas: Si es ingerido, provoca quemaduras severas de la boca y la garganta, así como peligro de perforación del esófago y del estómago.

Estimación de la toxicidad aguda Inhalación - 4 h - 3,1 mg/l
(Juicio de expertos)

DL50 Cutáneo - Conejo - macho - 500 mg/kg

(Directrices de ensayo 402 del OECD)

Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo

Resultado: Provoca quemaduras. - 3 min

(Directrices de ensayo 404 del OECD)

Clasificado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008, Anexo VI (Tabla 3.1/3.2)

Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo

Resultado: Provoca lesiones oculares graves.

(Directrices de ensayo 405 del OECD)

Provoca lesiones oculares graves.

Sensibilización respiratoria o cutánea

Bushler Test - Conejillo de indias

Resultado: negativo

Observaciones:
(IUCLID)

Mutagenicidad en células germinales

Tipo de Prueba: Prueba de Ames

Sistema experimental: Escherichia coli/Salmonella typhimurium

Activación metabólica: con o sin activación metabólica

Resultado: Se obtuvieron resultados positivos en algunas pruebas in vitro.

Observaciones: (ECHA)

Tipo de Prueba: Ensayo de mutación genética de células de mamífero in vitro

Sistema experimental: Mouse lymphoma test

Activación metabólica: Activación metabólica

Método: Directrices de ensayo 476 del OECD

Resultado: negativo

Tipo de Prueba: ensayo del intercambio de las cromátidas hermanas

Sistema experimental: células del ovario del hamster chino

Activación metabólica: con o sin activación metabólica

Método: Directrices de ensayo 479 del OECD

Resultado: negativo

Tipo de Prueba: ensayo de la síntesis de ADN no programada

30Egger-0.00127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 8 de 12



Sistema experimental: hepatocitos de rata
Activación metabólica: sin activación metabólica
Método: Directrices de ensayo 482 del OECD
Resultado: negativo

Tipo de Prueba: Ensayo de micronúcleos
Especies: Hamster

Vía de aplicación: Oral

Resultado: negativo
Observaciones: (ECHA)

Carcinogenicidad

Sin datos disponibles

Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

11.2 Información Adicional
sin datos disponibles.

El producto causa severa destrucción de los tejidos de las membranas mucosas, el tracto respiratorio superior, los ojos y la piel., Tos, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea

Según nuestras informaciones, cremas que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

Tras absorción:

Efecto tóxico sobre:

Hígado
Riñón

Bajo determinadas condiciones pueden formarse nitrosaminas a partir de nitritos o de ácido nitroso. Las nitrosaminas demostraron ser cancerígenas en ensayos sobre animales.

Las otras propiedades peligrosas no pueden ser excluidas.

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

Milipore- 3.90117

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 9 de 12



SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Toxicidad para los peces	Ensayo estático CL50 - Oncorhynchus mykiss (Trucha Irtsada) - 180 mg/l - 96 h Observaciones: (en agua blanda) (Literatura)
Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos	Ensayo estático CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 44,5 mg/l - 48 h (Directrices de ensayo 202 del OECD)
Toxicidad para las algas	Ensayo estático CE50r - Skeletonema costatum - 9 mg/l - 72 h (ISO 10253)
Toxicidad para las bacterias	Ensayo estático EC20 - fodos activados - > 1.000 mg/l - 30 min (Directrices de ensayo 209 del OECD)

12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad
aeróbico - Tiempo de exposición 25 d
Resultado: 93 % - Fácilmente biodegradable.
(Directrices de ensayo 301E del OECD)

12.3 Potencial de bioacumulación

Bioacumulación
Cyprinus carpio (Carpa) - 42 d
a 25 °C - 0,5 mg/l (Morfina)
Factor de bioconcentración (FBC): < 2,8
(Directrices de ensayo 305C del OECD)

12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPMB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

A pesar de la dilución forma todavía mezclas cáusticas con agua.
La descarga en el ambiente debe ser evitada.

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto

Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

Milipore- 3.90127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 10 de 12



SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU ADR/RID: 2054	IMDG: 2054	IATA: 2054
14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas ADR/RID: MORPHOLINA IMDG: MORPHOLINE IATA: Morfolina		
14.3 Clase(s) de peligro para el transporte ADR/RID: 8 (3)	IMDG: 8 (3)	IATA: 8 (3)
14.4 Grupo de embalaje ADR/RID: I	IMDG: I	IATA: I
14.5 Peligros para el medio ambiente ADR/RID: no	IMDG Contaminante marino: no	IATA: no
14.6 Precauciones particulares para los usuarios Sin datos disponibles		

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

REACH - Restricciones a la fabricación, comercialización y uso de determinadas sustancias, preparados y artículos peligrosos (Anexo XVII)

Legislación nacional

Seveso III: Directiva 2012/18/AE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. : TOXICIDAD AGUDA

: LÍQUIDOS INFLAMABLES

Otras regulaciones

Obsérvense las restricciones considerando la protección maternal de acuerdo a las regulaciones nacionales.

Tomar nota de la Directiva 94/33/CEE sobre la protección laboral de los jóvenes.

15.2 Evaluación de la seguridad química

Se ha realizado una Valoración de la Seguridad Química para esta sustancia.

Milipore- 8.06127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada.

Página 11 de 12



SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H226	Líquidos y vapores inflamables.
H302	Noctivo en caso de ingestión.
H311	Tóxico en contacto con la piel.
H311 + H331	Tóxico en contacto con la piel o si se inhala.
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H318	Provoca lesiones oculares graves.
H331	Tóxico en caso de inhalación.

Otros datos

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento está basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Diríjase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega. Copyright 2020 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno. La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con misbranding@sial.com.

Milipore- 8.06127

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada.

Página 12 de 12



ANEXO B: MSDS DEL SULFITO DE SODIO

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: **P033**
 Versión: **2.0 es**
 Reemplaza la versión de: 06.10.2016
 Versión: (1)

fecha de emisión: 06.10.2016
 Revisión: 19.10.2021

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

- 1.1 Identificador del producto**
 Identificación de la sustancia: **Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido**
 Número de artículo: **P033**
 Número de registro (REACH): **01-2119537420-49-xxxx**
 Número CE: **231-R21-4**
 Número CAS: **7757-83-7**
- 1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**
 Usos pertinentes identificados: **Producto químico de laboratorio. Uso analítico y de laboratorio.**
 Usos desaconsejados: **No utilizar en productos que estarán en contacto directo con alimentos. No utilizar para propósitos privados (domésticos).**
- 1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**
 Carl Roth GmbH + Co KG
 Schoemperlenstr. 3-5
 D-76185 Karlsruhe
 Alemania
Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de
 Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: **Department Health, Safety and Environment**
e-mail (persona competente): **sicherheit@carlroth.de**
Proveedor (importador): **QUIMIVITA S.A.**
Calle Balmes 245, 6a Planta
08006 Barcelona
+34 932 380 094
ranguita@quimivita.es
www.quimivita.es

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal Ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica Instituto Nacional de Toxicología y Ciencia Forense	Jose Echegaray nº 4 Las Rozas	28032 Madrid	+34 91 562 0420	

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: **P033**

1.5 Importador
 QUIMIVITA S.A.
 Calle Balmes 245, 6a Planta
 08006 Barcelona
 España
Teléfono: +34 932 380 094
Fax: -
e-Mail: ranguita@quimivita.es
Sitio web: www.quimivita.es

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

- 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla**
Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)
 Esta sustancia no reúne los criterios para ser clasificada conforme al Reglamento no 1272/2008/CE.
- 2.2 Elementos de la etiqueta**
Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)
 no es necesario.
- 2.3 Otros peligros**
Resultados de la valoración PBT y mPmB
 La evaluación de esta sustancia determina que no es PBT ni mPmB.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

- 3.1 Sustancias**
- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| Nombre de la sustancia | Sulfito de sodio |
| Fórmula molecular | Na ₂ O ₃ S |
| Masa molar | 126 g/mol |
| No de Registro REACH | 01-2119537420-49-xxxx |
| No CAS | 7757-83-7 |
| No CE | 231-R21-4 |

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios



Notas generales

Quitar las prendas contaminadas.

En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel

Aclararse la piel con agua/ducharse. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: P033

En caso de contacto con los ojos

Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

En caso de ingestión

Enjuagarse la boca. Llamar a un médico si la persona se encuentra mal.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

A la fecha no se conocen síntomas y efectos.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

ninguno

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción



Medios de extinción apropiados

medidas coordinadas de lucha contra incendios en el entorno agua, espuma, espuma resistente al alcohol, polvo extinguidor seco, polvo ABC.

Medios de extinción no apropiados

chorro de agua

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No combustible.

Productos de combustión peligrosos

en caso de incendio pueden formarse: Óxidos de azufre (SOx)

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

En caso de incendio y/o de explosión no respire los humos. Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónoma.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia



Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

No respirar el polvo.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Consejos sobre la manera de contener un vertido

Cierre de desagües. Recoger mecánicamente.

España (es)

Página 3 / 14

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: P033

Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido

Recoger mecánicamente.

Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

6.4 Referencia a otras secciones

Productos de combustión poligrosos: véase sección 5. Equipo de protección personal: véase sección 8. Materiales incompatibles: véase sección 10. Consideraciones relativas a la eliminación: véase sección 13.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

No son necesarias medidas especiales.

Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo

Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Almacenar en un lugar seco. Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

Sustancias o mezclas incompatibles

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

Atención a otras indicaciones:

Requisitos de ventilación

Utilización de ventilación local y general.

Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento

Temperatura recomendada de almacenamiento: 15 - 25 °C

7.3 Usos específicos finales

No hay información disponible.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Valores límites nacionales

Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)

País	Nombre del agente	No CAS	Identificador	VLA-ED (mg/m ³)	VLA-EC (mg/m ³)	VLA-VM (mg/m ³)	Anotación	Fuente
ES	partículas no especificadas de otra forma		VLA	10			i	INSHT
ES	partículas no especificadas de otra forma		VLA	3			r	INSHT

Anotación

i Fracción inhalable

r Fracción respirable

VLA-EC Valor límite ambiental-exposición de corta duración (nivel de exposición de corta duración): valor límite a partir del cual no debe producirse ninguna exposición y que hace referencia a un periodo de 15 minutos (salvo que se dispone lo contrario)

VLA-ED Valor límite ambiental-exposición diaria (límite de exposición de larga duración): tiempo medido o calculado en relación con un periodo de referencia de una media ponderada en el tiempo de ocho horas (salvo que se dispone lo contrario)

España (es)

Página 4 / 14

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio $\geq 98\%$, p.a., ACS, anhidro

número de artículo: P033

Anotación
VLA-VM Valor máximo a partir del cual no debe producirse ninguna exposición (ceiling value)

Valores relativos a la salud humana

DNEL pertinentes y otros niveles umbrales

Parámetro	Niveles umbrales	Objetivo de protección, vía de exposición	Utilizado en	Tiempo de exposición
DNEL	298 mg/m ³	humana, por inhalación	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos

Valores medioambientales

PNEC pertinentes y otros niveles umbrales

Parámetro	Niveles umbrales	Organismo	Compartmento ambiental	Tiempo de exposición
PNEC	1,33 ¹⁰⁰ %	organismos acuáticos	agua dulce	corto plazo (exposición única)
PNEC	0,13 ¹⁰⁰ %	organismos acuáticos	agua marina	corto plazo (exposición única)
PNEC	99,9 ¹⁰⁰ %	organismos acuáticos	depuradora de aguas residuales (DTP)	corto plazo (exposición única)

8.2 Controles de exposición

Medidas de protección individual (equipo de protección personal)

Protección de los ojos/la cara



Utilizar gafas de protección con protección a los costados.

Protección de la piel



• protección de las manos

Úsese guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374.

• tipo de material

NBR (Goma de nitrilo)

• espesor del material

>0,11 mm

• tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes

>480 minutos (permeación: nivel 6)

• otras medidas de protección

Hacer periodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

España (es)

Página 5 / 14

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio $\geq 98\%$, p.a., ACS, anhidro

número de artículo: P033

Protección respiratoria



Protección respiratoria es necesaria para: Formación de polvo. Filtro de partículas (EN 143), P1 (filtra al menos 80 % de las partículas atmosféricas, código de color: blanco).

Controles de exposición medioambiental

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico	sólido
Forma	polvo cristalino
Color	blanco
Olor	inodoro
Punto de fusión/punto de congelación	911 °C (ECHA)
Punto de ebullición o punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	no determinado
Inflamabilidad	no combustible
Límite superior e inferior de explosividad	no determinado
Punto de inflamación	no es aplicable
Temperatura de auto-inflamación	no determinado
Temperatura de descomposición	no relevantes
pH (valor)	8,8 - 10 (en solución acuosa: 50 ⁹ %, 20 °C)
Viscosidad cinemática	no relevantes
Solubilidad(es)	
Hidrosolubilidad	~ 300 ⁹ % a 25 °C
Coefficiente de reparto	
Coefficiente de reparto n-octanol/agua (valor logarítmico)	no relevantes (inorgánico)
Presión de vapor	no determinado
Densidad	2,63 ⁹ /cm ³ a 20 °C
Densidad de vapor	las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles
Densidad aparente	~ 1,480 ⁹ /m ³

España (es)

Página 6 / 14

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: **P033**

Características de las partículas	No existen datos disponibles.
Otros parámetros de seguridad	
Propiedades comburentes	ninguno
9.2 Otros datos	
Información relativa a las clases de peligro físico:	clases de peligro conforme al SGA (peligros físicos): no relevantes
Otras características de seguridad:	No hay información adicional.

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

- 10.1 Reactividad**
Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales.
- 10.2 Estabilidad química**
El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.
- 10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas**
Reacción exotérmica con: Comburentes.
Liberación de un gas de toxicidad aguda: Ácidos
- 10.4 Condiciones que deben evitarse**
No se conocen condiciones particulares que deban evitarse.
- 10.5 Materiales incompatibles**
No hay información adicional.
- 10.6 Productos de descomposición peligrosos**
Productos de combustión peligrosos: véase sección 5.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre las clases de peligro definidas en el Reglamento (CE) n.º 1272/2008

Clasificación conforme al SGA (1272/2008/CE, CLP)
Esta sustancia no reúne los criterios para ser clasificada conforme al Reglamento no 1272/2008/CE.

Toxicidad aguda

No se clasificará como toxicidad aguda.

Vía de exposición	Parámetro	Valor	Especie	Método	Fuente
oral	LD50	≥2.000 mg/kg	rata		ECHA
inhalación: polvo/aerosol	LC50	≥5,5 mg/dls	rata		ECHA
cutánea	LD50	≥2.000 mg/kg	rata		ECHA

España (es)

Página 7 / 14

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: **P033**

- Corrosión o irritación cutánea**
No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.
- Lesiones oculares graves o irritación ocular**
No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.
- Sensibilización respiratoria o cutánea**
No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.
- Mutagenicidad en células germinales**
No se clasificará como mutágeno en células germinales.
- Carcinogenicidad**
No se clasificará como carcinógeno.
- Toxicidad para la reproducción**
No se clasificará como tóxico para la reproducción.
- Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**
No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).
- Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida**
No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).
- Peligro por aspiración**
No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.
- Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas**
- **En caso de ingestión**
No se dispone de datos.
 - **En caso de contacto con los ojos**
debilmente irritante
 - **En caso de inhalación**
Después de inhalar polvo pueden irritarse las vías respiratorias.
 - **En caso de contacto con la piel**
esencialmente no irritante
 - **Otros datos**
ninguno
- 11.2 Propiedades de alteración endocrina**
No incluido en la lista.
- 11.3 Información relativa a otros peligros**
No hay información adicional.

España (es)

Página 8 / 14

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: **P033**

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad

No se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático.

Toxicidad acuática (aguda)				
Parámetro	Valor	Especie	Fuente	Tiempo de exposición
LC50	4464 mg/L	pez	ECHA	96 h
EC50	89 mg/L	invertebrados acuáticos	ECHA	48 h
ERC50	438 mg/L	alga	ECHA	72 h

Toxicidad acuática (crónica)				
Parámetro	Valor	Especie	Fuente	Tiempo de exposición
EC50	410 mg/L	microorganismos	ECHA	17 h

Biodegradación

Métodos para determinar la desintegración no se pueden aplicar para materiales inorgánicos.

12.2 Procesos de degradación

No se dispone de datos.

12.3 Potencial de bioacumulación

No se dispone de datos.

12.4 Movilidad en el suelo

No se dispone de datos.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

No se dispone de datos.

12.6 Propiedades de alteración endocrina

No incluido en la lista.

12.7 Otros efectos adversos

No se dispone de datos.

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos



Contactar al eliminador aprobado correspondiente para una eliminación de residuos.

Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales

No tirar los residuos por el desagüe.

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido

número de artículo: **P033**

13.2 Disposiciones sobre prevención de residuos

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso. Abfallverzeichnis-Verordnung (reglamento sobre catálogo de residuos, Alemania).

13.3 Observaciones

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor, considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1 Número ONU o número ID

no está sometido a las reglamentaciones de transporte

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

no asignado

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ninguno

14.4 Grupo de embalaje

no asignado

14.5 Peligros para el medio ambiente

no peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

No hay información adicional.

14.7 Transporte marítimo a granel con arreglo a los instrumentos de la OMI

El transporte a granel de la mercancía no está previsto.

14.8 Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas

Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN) - Información adicional

No está sometido al ADR, RID y al ADN.

Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) - Información adicional

No está sometido al IMDG.

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI-IATA/DGR) - Información adicional

No está sometido a la OACI-IATA.

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Disposiciones pertinentes de la Unión Europea (UE)

Restricciones conforme a REACH, Anexo XVII

no incluido en la lista

Lista de sustancias sujetas a autorización (REACH, Anexo XIV)/SVHC - lista de candidatos

No incluido en la lista.

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio > 98% p.a., ACS, anhídrido
número de artículo: P033

Directiva Seveso

2012/18/UE (Seveso III)

No.	Sustancia peligrosa/categorías de peligro	Cantidades umbral (en toneladas) de aplicación de los requisitos de nivel inferior y superior	Notas
	no asignado		

Directiva Decopaint

Contenido de COV	0 % , 0 % ₁
-------------------------	---------------------------

Directiva sobre Emisiones Industriales (DEI)

Contenido de COV	0 %
Contenido de COV	0 % ₁

Directiva sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (RoHS)
no incluido en la lista

Reglamento relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes (PRTR)
no incluido en la lista

Directiva Marco del Agua (DMA)

Lista de contaminantes (DMA)

Nombre de la sustancia	Nombre según el inventario	No CAS	Presencia en	Observaciones
sulfito de sodio	Metales y sus compuestos		A)	

Leyenda

A) Lista indicativa de los principales contaminantes

Reglamento sobre la comercialización y la utilización de precursores de explosivos
no incluido en la lista

Reglamento sobre precursores de drogas
no incluido en la lista

Reglamento sobre las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)
no incluido en la lista

Reglamento relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (PIC)
no incluido en la lista

Reglamento sobre contaminantes orgánicos persistentes (POP)
no incluido en la lista

Otros datos

Directiva 94/33/CE relativa a la protección de los jóvenes en el trabajo. Tener en cuenta la ocupación limitada según la ley de protección a la madre (92/85/CEE) para embarazadas o madres que dan el pecho.

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio > 98% p.a., ACS, anhídrido
número de artículo: P033

Catálogos nacionales

País	Inventario	Estatuto
AU	AICS	la sustancia es enumerada
CA	DSL	la sustancia es enumerada
CN	IECSC	la sustancia es enumerada
EU	ECS	la sustancia es enumerada
FI	REACH Reg.	la sustancia es enumerada
JP	CSCL/ENCS	la sustancia es enumerada
KR	KECI	la sustancia es enumerada
MX	INSQ	la sustancia es enumerada
NZ	NZIoC	la sustancia es enumerada
PH	PICCS	la sustancia es enumerada
TR	CICR	la sustancia es enumerada
TW	TCSI	la sustancia es enumerada
US	TSCA	la sustancia es enumerada

Leyenda

AICS Australian Inventory of Chemical Substances
CICR Chemical Inventory and Control Legislation
CSCL/ENCS List of Existing and New Chemical Substances (CSCL/ENCS)
DSL Domestic Substances List (DSL)
ECS SE Inventario de sustancias (EHCSS, ELINCS, NLP)
IECSC Inventory of Existing Chemical Substances Produced or Imported in China
INSQ Inventario Nacional de Sustancias Químicas
KECI Korea Existing Chemicals Inventory
NZIoC New Zealand Inventory of Chemicals
PICCS Philippine Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS)
REACH Reg. Sustancias registradas REACH
TCSI Taiwan Chemical Substance Inventory
TSCA Ley de Control de Sustancias Tóxicas

15.2 Evaluación de la seguridad química

No se ha realizado una evaluación de la seguridad química de esta sustancia.

SECCIÓN 16: Otra información

Indicación de modificaciones (ficha de datos de seguridad revisada)

Adaptación al reglamento: Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2020/878/UE

Reestructuración: sección 9, sección 14

Sección	Inscripción anterior (texto/valor)	Inscripción actual (texto/valor)	Referencia para la seguridad
2.2	Palabra de advertencia: no es necesario		si
2.3	Otros peligros: No hay información adicional.	Otros peligros	si
2.3		Resultados de la valoración PBT y mPbB: La evaluación de esta sustancia determina que no es PBT ni mPbB.	si

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido
número de artículo: **P033**

Abreviaturas y los acrónimos

Abrev.	Descripciones de las abreviaturas utilizadas
ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)
ADR	Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo relativo al Transporte Internacional de mercancías peligrosas por carretera)
CAS	Chemical Abstracts Service (número identificador único corriente de significado químico)
CLP	Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DGR	Dangerous Goods Regulations (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas, véase IATA/DGR)
DNEL	Derived No-Effect Level (nivel sin efecto derivado)
EC50	Effective Concentration 50 % (porcentaje de concentración efectiva). La EC50 corresponde a la concentración de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de cambios en la respuesta (por ejemplo, en el crecimiento) durante un intervalo de tiempo determinado
EINECS	European Inventory of existing commercial chemical substances (catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas)
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)
EC50	EC50, en este ensayo, es la concentración de la sustancia de ensayo que da lugar a una reducción del 50 %, bien en el crecimiento (COB) bien en la tasa de crecimiento (COE) con respecto al riesgo
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
IATA/DGR	Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)
INSHT	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos, INSHT
LC50	Lethal Concentration 50 % (concentración letal 50%): la LC50 corresponde a la concentración de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado
LD50	Lethal Dose 50 % (dosis letal 50 %): la DL50 corresponde a la dosis de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado
MPH	Muy persistente y muy bioacumulable
NLP	Non-organic Polymer (no-polímero)
No. CE	El inventario de la CE (EINECS, ELINCS y lista MPH) es la fuente para el número CE como identificador de sustancias de la UE (Unión Europea)
OACI	Organisation of Aviation Civile International
PBT	Persistente, Bioacumulable y Tóxico
PNEC	Predicted No-Effect Concentration (concentración prevista sin efecto)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)
RID	Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento relativo al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)
SGA	"Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas

Ficha de datos de seguridad
conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Sulfito de sodio ≥ 98%, p.a., ACS, anhídrido
número de artículo: **P033**

Abrev.	Descripciones de las abreviaturas utilizadas
SVHC	Substance of Very High Concern (sustancia extremadamente preocupante)
VLA	Valor límite ambiental
VLA-EC	Valor límite ambiental-exposición de corta duración
VLA-ED	Valor límite ambiental-exposición diaria
VLA-VM	Valor máximo

Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos

Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas, Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2020/878/UE.

Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN), Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG), Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire).

Cláusula de exención de responsabilidad

Esta información se basa en los conocimientos de que disponemos hasta el momento. Esta FDS se refiere exclusivamente a este producto.

ANEXO C: FACTORES DE RIESGO DE SEGURIDAD ASOCIADOS A LAS CALDERAS

Proceso	Actividad	Factor de riesgo	Aceptabilidad del riesgo	Empresas (%)	
Puesta en funcionamiento	Preparación y dosificación de químicos	Contacto con superficies calientes	Poco aceptable	100	
		Incorrecta preparación y dosificación de químicos	Poco aceptable	100	
		Falta de capacitación y protocolos de emergencia	Poco aceptable	100	
Producción de vapor		Fugas en los tubos de conducción de vapor	Poco aceptable	100	
		Fallo válvulas de seguridad	Poco aceptable	100	
		Fallo control de nivel de agua	Poco aceptable	100	
		Falta de capacitación y protocolos de emergencia	No aceptable	62	
Purga de la caldera		Incorrecta operación y mantenimiento	Poco aceptable	100	
		Falta de capacitación y protocolos de emergencia	No aceptable	75	
Operación y vigilancia		Falta de vigilancia de aparatos de control y seguridad	No aceptable	62	
		Falta de registro de operación e incidentes	No aceptable	62	
		Incendio	No aceptable	37	
	Vigilancia funcionamiento		Explosión	No aceptable	100
			Falta vigilancia operación de la caldera	Poco aceptable	100
			Falta de capacitación y protocolos de emergencia	No aceptable	100
		Falta de registro de inspecciones, mantenimientos e incidentes	No aceptable	62	
Inspección y mantenimiento	Inspección y mantenimiento	Exceso de presión	Poco aceptable	100	
		Falta de resistencia de material	Poco aceptable	100	
		Explosión	No aceptable	87	
		Falta manual y protocolo de inspección, mantenimiento y emergencias	No aceptable	62	

Riesgo	Fuente	Efectos posibles
Sobrepresión	Válvulas de seguridad	Lesiones de gran severidad
Daño interno de materiales	Tratamiento inadecuado de agua	
Falta de agua	Control de nivel	
Ruido	<ul style="list-style-type: none"> – Ventiladores – Disparo de válvula de seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> – Malestar – Tensión – Pérdida progresiva de la audición
Calor	Superficies calientes sin aislamiento térmico	Quemaduras calóricas
Radiación no ionizante	Llama de combustión	<ul style="list-style-type: none"> – Lesiones oftalmológicas – Quemaduras en la piel – Catarata profesional
Ventilación inadecuada	Instalaciones sin circulación de aire	<ul style="list-style-type: none"> – Malestar general – Afecciones respiratorias
Iluminación inadecuada	Lámparas insuficientes o defectuosas	<ul style="list-style-type: none"> – Pérdida de la visión – Golpes contra objetos

ANEXO D: QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS



Boiler water treatment chemicals

Treatment purpose	Chemical
To increase alkalinity	<ul style="list-style-type: none"> • Sodium Carbonate • Sodium Hydroxide
Sludge conditioning	<ul style="list-style-type: none"> • Poly electrolytes • Starch • Tannin • Sodium Aluminates
Scale prevention	<ul style="list-style-type: none"> • Sodium Phosphates
To eliminate oxygen	<ul style="list-style-type: none"> • Sodium Sulphate • Hydrazine
Reduce foam carryover risk	<ul style="list-style-type: none"> • Antifoaming agent
CO ₂ neutralisation	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralising Amines
Reduce caustic embrittlement risk	<ul style="list-style-type: none"> • Sodium Sulphite • Sodium Nitrate
Steam/Condensate line protection	<ul style="list-style-type: none"> • Filming Amines

Impurity (Chemical Formula)	Problems	Common Chemical Treatment Methods
Alkalinity (HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ and CaCO ₃)	Carryover of feedwater into steam, produce CO ₂ in steam leading to formation of carbonic acid (acid attack)	Neutralizing amines, filming amines, combination of both, and lime-soda.
Hardness (calcium and magnesium salts, CaCO ₃)	Primary source of scale in heat exchange equipment	Lime softening, phosphate, chelates and polymers
Iron (Fe ³⁺ and Fe ²⁺)	Causes boiler and water line deposits	Phosphate, chelates and polymers
Oxygen (O ₂)	Corrosion of water lines, boiler, return lines, heat exchanger equipments, etc. (oxygen attack)	Oxygen scavengers, filming amines and deaeration
pH	Corrosion occurs when pH drops below 8.5	pH can be lowered by addition of acids and increased by addition of alkalis
Hydrogen Sulfide (H ₂ S)	Corrosion	Chlorination
Silica (SiO ₂)	Scale in boilers and cooling water systems	Lime softening

ANEXO E: LÍNEAS DE MONITORIZACIÓN DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

Tabla 13.1. Líneas maestras de monitorización del agua de alimentación

Ítem a monitorizar	Frecuencia recomendada*	
	Óptima	Aceptable
Conductividad	En continuo	En continuo
COT (carbónico orgánico total)	En continuo	Semisemanal
SiO ₂ disuelto	En continuo	Diario
SiO ₂ total	Diario	Semisemanal
Na ⁺ , Cl ⁻	En continuo	En continuo
F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , K ⁺	Semisemanal	Semanal
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Semisemanal	Semanal
Fe, Cu	Semisemanal	Semanal
O ₂ disuelto**	En continuo	En continuo
Sólidos en suspensión	En continuo	Semisemanal
Bacterias***	Semisemanal	Semanal
pH****	Cuando sea necesario	Cuando sea necesario

* Frecuencia dictada por la disponibilidad de analizadores o medidores en línea; la instrumentación para monitorización continua puede no estar disponible para todos los parámetros.

** Para el sistema con desgasificador de vacío.

*** Crítico para sistemas de membranas de OI o UF; diagnóstico útil para otras sustancias.

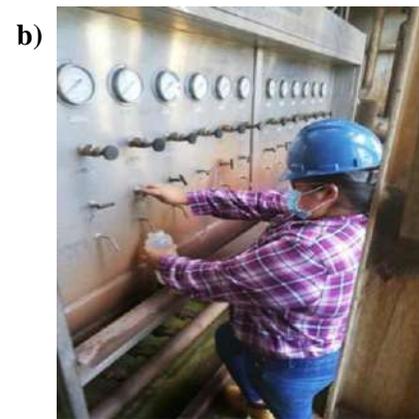
**** Para diagnósticos.

Fuente: Líneas maestras de Power Research Institute.

ANEXO F: MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE IMPUREZAS DE LAS CALDERAS

CONSTITUYENTE	FORMULA QUIMICA	FUENTE PRINCIPAL DEL CONTAMINANTE	EFECTO POSIBLE CUANDO SE ENCUENTRA PRESENTE EN AGUAS DE CALDERA	TRATAMIENTO PARA REMOVERLO DEL AGUA
Sólidos en suspensión		Drenado superficial, residuos industriales	Arrastres, espumas, lodos o incrustación.	Sedimentación, coagulación, filtración, evaporación.
Sílice	SiO ₂	Depósitos minerales	Incrustación	Sedimentación, coagulación, filtración, evaporación, intercambio iónico.
Carbonato de calcio	CaCO ₃	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Bicarbonato de calcio	Ca(HCO ₃) ₂	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento por calentamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación
Sulfato de calcio	CaSO ₄	Depósitos minerales	Incrustación, corrosión	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Cloruro de calcio	CaCl ₂	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Carbonato de magnesio	MgCO ₃	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Bicarbonato de magnesio	Mg(HCO ₃) ₂	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Cloruro de magnesio	MgCl ₂	Depósitos minerales	Incrustación, corrosión	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Ácidos libres	HCl, H ₂ SO ₄	Drenaje de minas, residuos industriales	Corrosión	Neutralización, seguida en ocasiones de ablandamiento o evaporación.
Cloruro de sodio	NaCl	Aguas negras, residuos industriales, depósitos minerales.	Inerte, pero puede ser corrosivo bajo ciertas condiciones.	Evaporación y desmineralización (intercambio iónico).
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	Depósitos minerales	Arrastre, espuma.	Evaporación y desmineralización (intercambio iónico).
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	Depósitos minerales	Arrastre, espuma.	Evaporación y desmineralización (intercambio iónico).
oxígeno	O ₂	Absorción de la atmosfera	Corrosión	Desaereación
Grasa y aceite		Residuos industriales	Corrosión, depósitos, arrastre, espuma.	Coagulación, filtración, evaporación, coalesción.
Materia orgánica y aguas negras		Residuos domésticos e industriales.	Corrosión, depósitos, arrastre, espuma.	Coagulación, filtración, evaporación.
Ácido carbónico	H ₂ CO ₃	Absorción de la atmosfera, descomposición de materia orgánica, depósitos minerales.	Corrosión.	Desaereación

ANEXO G: VISITA TÉCNICA A LA CENTRAL TÉRMICA ESMERALDAS II



NOTAS: a. Levantamiento de datos b. Recolección de muestra de agua de caldera c. Análisis de laboratorio	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: SALAMEA JENNIFER	VISITA TÉCNICA A LA CENTRAL TÉRMICA ESMERALDAS II		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	07/07/2022

d)



e)



f)



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p style="text-align: center;">ELABORADO POR: SALAMEA JENNIFER</p>	VISITA TÉCNICA A LA CENTRAL TÉRMICA ESMERALDAS II			
<p>d. Inducción del funcionamiento de la central</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información		LÁMINA	ESCALA	FECHA	
<p>e. Inspección en el desaireador</p>			1	1:1	07/07/2022	
<p>f. Inspección al sistema de calderas</p>						



NOTAS: g. Productos químicos para el tratamiento h. Tanque de alimentación	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: SALAMEA JENNIFER			VISITA TÉCNICA A LA CENTRAL TÉRMICA ESMERALDAS II		
		LÁMINA 1	ESCALA 1:1	FECHA 07/07/2022			

ANEXO H: NORMATIVA ASME PARA EL CONTROL QUÍMICO DEL AGUA

SUGGESTED WATER CHEMISTRY LIMITS
**INDUSTRIAL WATERTUBE, HIGH DUTY,
 PRIMARY FUEL FIRED, DRUM TYPE**

TABLE 1

Makeup water percentage: Up to 100% of feedwater
 Conditions: Includes superheater, turbine drives, or process restriction on steam purity
 Saturated steam purity target: See tabulated values below.

Drum Operating Pressure (1)(11)	psig 0-300 (MPa) (0-2.07)	301-450 (2.08-3.10)	451-600 (3.11-4.14)
Feedwater(7)			
Dissolved oxygen ppm (mg/l) O ₂ -measured before chemical oxygen scavenger addition (8)	<0.007	<0.007	<0.007
Total iron ppm (mg/l) Fe	≤0.1	≤0.05	≤0.03
Total copper ppm (mg/l) Cu	≤0.05	≤0.025	≤0.02
Total Hardness ppm	≤0.3	≤0.3	≤0.2
pH @ 25°C	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0
Chemicals for preboiler system protection	NS	NS	NS
Nonvolatile TOC ppm (mg/l) C (6)	<1	<1	<0.5
Oily matter ppm (mg/l)	<1	<1	<0.5
Boiler Water			
silica ppm (mg/l) SiO ₂	≤150	≤90	≤40
Total alkalinity ppm (mg/l)*	<700(3)	<600(3)	<500(3)
Free OH alkalinity ppm (mg/l)* (2)	NS	NS	NS
Specific conductance (12) μmhos/cm (μS/cm) 25°C without neutralization	5400-1100(5)	4600-900(5)	3800-800(5)
Total Dissolved Solids in Steam (9)			
TDS (maximum) ppm (mg/l)	1.0-0.2	1.0-0.2	1.0-0.2

*as CaCO₃

NS =not specified

NO = not detectable

VAM = Use only volatile alkaline materials upstream of attemperation water source.
 (10)

**SUGGESTED WATER CHEMISTRY LIMITS
INDUSTRIAL WATERTUBE, HIGH DUTY,
PRIMARY FUEL FIRED, DRUM TYPE**

TABLE 1

Makeup water percentage: Up to 100% of feedwater
Conditions: Includes superheater, turbine drives, or process restriction on steam purity
Saturated steam purity target: See tabulated values below.

601-750 (4.15-5.171)	751-900 (5.18-6.211)	901-1000 (6.22-6.89)	1001-1500 (6.90-10.34)	1501-2000 (10.35-13.79)
<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
≤0.025	≤0.02	≤0.02	≤0.01	≤0.01
≤0.02	≤0.015	≤0.01	≤0.01	≤0.01
≤0.2	≤0.1	≤0.05	ND	ND
8.3-10.0	8.3-10.0	8.8-9.6	8.8-9.6	8.8-9.6
NS	NS	VAM	VAM	VAM
<0.5	<0.5	<0.2	<0.2	<0.2
<0.5	<0.5	<0.2	<0.2	<0.2
≤30	≤20	≤8	≤2	≤1
<200(3)	<150(3)	<100(3)	NS(4)	NS(4)
NS	NS	NS	ND(4)	ND(4)
1500-300(5)	1200-200(5)	1000-200(5)	≤150	≤80
0.5-0.1	0.5-0.1	0.5-0.1	0.1	0.1

NOTES TO TABLE 1

(1) With local heat fluxes $>1.5 \times 10^5$ Btu/hr/ft² (>473.2 kW/m²), use values for at least the next higher pressure range.

(2) Minimum hydroxide alkalinity concentrations in boilers below 900 psig (6.21 MPa) must be individually specified by a qualified water treatment consultant with regard to silica solubility and other components of internal treatment. See Section 6.6 of this document.

(3) Maximum total alkalinity consistent with acceptable steam purity. If necessary, should override conductance as blowdown control parameter. If makeup is demineralized quality water and boiler operates at less than 1000 psig (6.89 MPa) drum pressure, the boiler water conductance should be that in table for 1001-1500 psig (6.9-10.34 MPa) range. In this case, the necessary continuous blowdown will usually keep these parameters below the tabulated maximum values. Alkalinity values in excess of 10% of specific conductance values may cause foaming

(4) Not detectable in these cases refers to free sodium or potassium hydroxide alkalinity. Some small variable amount of total alkalinity will be present and measurable with the assumed congruent or coordinated phosphate-pH control or volatile treatment employed at these high pressure ranges

(5) Maximum values are often not achievable without exceeding maximum total alkalinity values, especially in boilers below 900 psig (6.21 MPa) with $>20\%$ makeup of water whose total alkalinity is $>20\%$ of TDS naturally or after pretreatment by lime-soda, or sodium cycle ion exchange softening. Actual permissible conductance values to achieve any desired steam purity must be established for each case by careful steam purity measurements. Relationship between conductance and steam purity is affected by too many variables to allow its reduction to a simple list of tabulated values.

(6) Nonvolatile TOC is that organic carbon not intentionally added as part of the water treatment regime. See Section 6.4 of this document.

(7) Boilers below 900 psig (6.21 MPa) with large furnaces, large steam release space, and internal chelant, polymer, and/or antifoam treatment can sometimes tolerate higher levels of feedwater impurities than those in the table and still achieve adequate deposition control and steam purity. Removal of these impurities by external pretreatment is always a more positive solution. Alternatives must be evaluated as to practicality and economics in each individual case.

(8) Values in the table assume existence of a deaerator.

(9) Achievable steam purity depends on many variables, including boiler water total alkalinity and specific conductance as well as design of boiler steam drum internals and operating conditions [Note (5)]. Since boilers in this category require a relatively high degree of steam purity for protection of the superheaters and turbines, more stringent steam purity requirements such as process steam restrictions on individual chemical species or restrictions more stringent than 0.1 ppm (mg/l) TDS turbine steam purity must be addressed specifically.

(10) As a general rule, the requirements for attemperation spray water quality are the same as those for steam purity. In some cases boiler feedwater is suitable; however, frequently additional purification is required. In all cases the spray water should be obtained from a source that is free of deposit forming and corrosive chemicals such as sodium hydroxide, sodium sulfite, sodium phosphate, iron, and copper. The suggested limits for spray water quality are <30 ppb ($\mu\text{g/l}$) TDS maximum, <10 ppb ($\mu\text{g/l}$) Na maximum, <20 ppb ($\mu\text{g/l}$) SiO_2 maximum, and it should be essentially oxygen free.

(11) Low pressure boilers frequently use feed water that is suitable for use in higher pressure boilers. In these cases the boiler water chemistry limits should be based on the pressure range that is most consistent with the boiler water and feedwater quality. See Sections 1 and 6.2 of this document regarding blowdown.

(12) Conversion from ppm (mg/l) TDS values in the ABMA standards [12] used a factor of 0.65. See Section 6.7 of this document.

**SUGGESTED WATER CHEMISTRY LIMITS
INDUSTRIAL WATERTUBE, HIGH DUTY,
PRIMARY FUEL FIRED, DRUM TYPE**

TABLE 2

Makeup water percentage: Up to 100% of feedwater
 Conditions: No superheater, turbine drives, or process restriction on steam purity
 Steam purity (7): 1.0 ppm (mg/l) TDS maximum.

Drum Operating Pressure	psig 0-300 301-600	(MPa) (0-2.07) (2.08-4.14)
Feedwater(3)		
Dissolved oxygen ppm (mg/l) O ₂ - measured before chemical oxygen scavenger addition (1) (2)	<0.007	<0.007
Total iron ppm (mg/l) Fe	<0.1	<0.05
Total copper ppm (mg/l) Cu	<0.05	<0.025
Total hardness ppm (mg/l) *	<0.5	<0.3
pH @ 25°C	8.3-10.5	8.3-10.5
Nonvolatile TOC ppm (mg/l) C (6)	<1	<1
Oily matter ppm (mg/l)	<1	<1
Boiler Water		
Silica ppm (mg/l) SiO ₂	<150	<90
Total alkalinity ppm (mg/l) *	<1000(5)	<850(5)
Free OH alkalinity ppm (mg/l) * (4)	NS	NS
Specific conductance /μmhos/cm(μS/cm) @ 25°C without neutralization	<7000(5)	<5500(5)

*as CaCO₃

NS = not specified

NOTES TO TABLE 2

(1) Values in the table assume existence of a deaerator.

(2) Chemical deaeration should be provided in all cases, especially if mechanical deaeration is nonexistent or inefficient.

(3) Boilers with relatively large furnaces, large steam release space and internal chelant, polymer, and/or antifoam treatment can often tolerate higher levels of feedwater impurities than those in the table and still achieve adequate deposition control and steam purity. Removal of these impurities by external pretreatment is always a more positive solution. Alternatives must be evaluated as to practicality and economics in each individual case. The use of some dispersant and antifoam internal treatment is typical in this type of boiler operation; therefore, it can tolerate higher feedwater hardness than the boilers in Table 1.

(4) Minimum and maximum hydroxide alkalinities must be individually specified by a qualified water treatment consultant with regard to silica solubility and other components of internal treatment. See Section 6.6 of this document.

(5) Alkalinity and conductance values are consistent with steam purity limits in the same table. Practical limits above or below tabulated values should be individually established by careful steam purity measurements.

(6) Nonvolatile TOC is that organic carbon not intentionally added as part of the water treatment program. See Section 6.4 of this document.

(7) This limit represents steam purity that should be achievable if other tabulated water quality values are maintained. The limit is not intended to be nor should it be construed to represent a boiler performance guarantee.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 27/05/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Jennifer Katherine Salamea Urgilez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
 Ing. Darío Fernando Guamán Lozada Director del Trabajo de Integración Curricular
 Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos Asesora del Trabajo de Integración Curricular