

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE AUTOMATIZACION Y MONITOREO DEL  
PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, EN LA  
EMPRESA CASCADE DEL SUR S.A.**

**Por:**

**DIEGO AGUSTIN ESPINOZA ROCHA**

**Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para aprobar el Seminario de Grado II  
de la carrera de Ingeniería Industrial.**

**Marzo del 2026**

**TARIJA – BOLIVIA**

-----  
**MSc. Ing. Marcelo Segovia Cortez**  
**DECANO**

-----  
**Ing. Fernando Cortez Michel**  
**VICEDECANO**

-----  
**Ing. Emmy Adela Alfaro Murillo**  
**DIRECTOR (a) DE CARRERA**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

-----  
**Ing. Virginia Heredia Valda**  
**TRIBUNAL 1**

-----  
**Ing. Andrea Céspedes Gira**  
**TRIBUNAL 2**

-----  
**Ing. Adriana Aguilar Donaire**  
**TRIBUNAL 3**

**Advertencia**

El tribunal calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, termino, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

### **Dedicatoria**

El presente proyecto va dedicado a mis padres que pusieron todo su esfuerzo, mis amigos que son un aliento a seguir adelante, mis docentes que me enseñaron todo y que puedo llegar a hacer más.

### **Agradecimiento**

Agradezco a los lectores por tomar mi trabajo un punto de partida o de motivación porque lo que se requiere para hacer de nuestro trabajo es consultar sobre lo que estamos haciendo.

**Pensamiento**

Se necesita de voluntades fuertes para esforzarse al máximo en el trabajo que cada uno se pone en el camino, transformando dificultades en oportunidades

## ÍNDICE

1. Introducción .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Antecedentes teóricos.....	2
1.1.2. Antecedentes de Campo .....	3
1.1.3. Antecedentes Empresariales .....	4
1.2. Descripción de la empresa.....	5
1.2.1. Descripción de la situación problemática.....	5
1.3. Árbol de problemas .....	7
1.4. Árbol de soluciones .....	7
1.5. Objetivos.....	8
1.5.1. Objetivo General.....	8
1.5.2. Objetivos Específicos .....	8
1.6. Justificación.....	8
1.6.1. Justificación Académica.....	8
1.6.2. Justificación Técnica .....	9
1.6.3. Justificación Legal.....	9
1.6.4. Justificación Económica.....	10
1.6.5. Justificación Personal .....	10
1.7. Metodología.....	10
1.7.1. Tipo de investigación.....	10
1.7.2. Diseño.....	11
1.7.3. Enfoque.....	12
1.7.4. Alcance .....	13
1.7.5. Técnicas e instrumentos utilizados .....	14
2. Marco Teórico.....	15
2.1. Marco Científico o referencial.....	15
2.1.1. El agua y sus características .....	15
2.1.2. Control de calidad.....	16
2.1.3. Automatización.....	16
2.1.4. Investigación descriptiva .....	16
2.1.5. Investigación propositiva.....	17
2.1.6. Enfoque mixto .....	17

2.1.7.	El PH en el agua .....	17
2.1.8.	Molaridad.....	18
2.1.9.	Cloro .....	18
2.1.10.	Aplicación del análisis modal de fallas y efectos .....	19
2.1.11.	Indicador ROI.....	20
2.2.	Marco Técnico.....	21
2.2.1.	Sistema SCADA, PLC e IOT .....	21
2.2.2.	Sistema PLC .....	21
2.2.3.	Sensores y Actuadores.....	22
2.2.4.	Electroválvulas .....	23
2.2.5.	Programación y software .....	23
2.2.6.	Ladder .....	24
2.3.	Marco Legal y Normativo .....	24
2.3.1.	Norma ISO 24512 y 24510.....	24
2.3.2.	Norma de la OMS.....	25
2.3.3.	Normas bolivianas .....	25
2.3.4.	Normativa SENASAG.....	27
3.	Identificación de la empresa.....	28
3.1.	Empresa .....	28
3.2.	Ubicación.....	29
3.3.	Organización.....	30
3.4.	Productos y/o servicios.....	31
3.5.	Maquinaria y Equipo .....	31
3.6.	Diagrama de flujo del proceso.....	34
3.6.1.	Diagrama de flujo tratamiento de agua.....	34
3.7.	Lay Out.....	35
3.8.	Residuos y/o desechos .....	36
4.	Diagnostico.....	37
4.1.	Objeto de estudio .....	37
4.2.	Características de materia prima.....	38
4.3.	Proceso Productivo .....	39
4.3.1.	Descripción del proceso productivo .....	39

4.4.	Parámetros de calidad del agua .....	54
4.5.	Estructura interna del reactor.....	57
4.6.	Identificación de pérdidas y residuos .....	59
4.6.1	Perdidas .....	59
4.6.2.	Residuos.....	59
4.7.	Infraestructura actual antigüedad y estado de los equipos .....	60
4.8.	Lay out.....	61
4.9.	Mantenimiento actual .....	62
4.9.1.	Descripción de mantenimiento .....	63
5.	Identificación, evaluación y selección de alternativas .....	64
5.1.	Objetivos de tratamiento.....	64
5.2.	Características de calidad .....	64
5.3.	Análisis de puntos críticos.....	65
5.3.1.	Aplicación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE).....	66
5.3.2.	Variaciones de nivel de agua .....	68
5.3.3.	Variaciones de reactivos añadidos.....	68
5.3.4.	Variaciones de control de calidad.....	68
5.4.	Alternativas de automatización .....	69
6.	Alternativa de éxito .....	72
6.1.	Instalación de tecnología .....	72
6.1.1.	Control automático de niveles y bombeo con PLC .....	72
6.1.2.	Correcto funcionamiento del sistema .....	102
6.2.	Documentación de tiempos de dosificación .....	107
6.3.	Desarrollo de kpi`s.....	107
6.4.	Características de tecnología seleccionada.....	109
6.5.	Procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo .....	111
7.	Análisis económico .....	90
7.1.	Análisis de costos para el sistema PLC .....	90
7.1.1.	Presupuesto del sistema PLC.....	90
7.2.	Relación beneficio costo.....	91
7.3.	Análisis de indicadores económicos.....	92
8.	Conclusiones y recomendaciones.....	95

8.1.	Conclusiones.....	95
8.2.	Recomendaciones .....	96
9.	Referencias Bibliográficas .....	96
9.1.	Bibliografía.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .....	11
Tabla 2 .....	15
Tabla 3 .....	28
Tabla 4 .....	31
Tabla 5 .....	32
Tabla 6 .....	38
Tabla 7 .....	42
Tabla 8 .....	44
Tabla 9 .....	45
Tabla 10 .....	47
Tabla 11 .....	48
Tabla 12 .....	48
Tabla 13 .....	50
Tabla 14 .....	50
Tabla 15 .....	51
Tabla 16 .....	53
Tabla 17 .....	53
Tabla 18 .....	54
Tabla 19 .....	59
Tabla 20 .....	64
Tabla 21 .....	65
Tabla 22 .....	65
Tabla 23 .....	67
Tabla 24 .....	69
Tabla 25 .....	70
Tabla 26 .....	71
Tabla 27 .....	72
Tabla 28 .....	75
Tabla 29 .....	76
Tabla 30 .....	77
Tabla 31 .....	88
Tabla 32 .....	102
Tabla 33 .....	102

Tabla 34.....	104
Tabla 35.....	104
Tabla 36.....	105
Tabla 37.....	105
Tabla 38.....	108
Tabla 39.....	108
Tabla 40.....	109
Tabla 41.....	91
Tabla 42.....	92
Tabla 43.....	92
Tabla 44.....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	7
Figura 2	7
Figura 3	29
Figura 4	30
Figura 5	34
Figura 6	35
Figura 7	37
Figura 8	40
Figura 9	41
Figura 10	43
Figura 11	44
Figura 12	46
Figura 13	46
Figura 14	49
Figura 15	51
Figura 16	52
Figura 17	55
Figura 18	56
Figura 19	57
Figura 20	57
Figura 21	58
Figura 22	58
Figura 23	61
Figura 24	62
Figura 25	78
Figura 26	79
Figura 27	80
Figura 28	81
Figura 29	81
Figura 30	82
Figura 31	83
Figura 32	86

Figura 33	87
Figura 34	87
Figura 35	89
Figura 36	90
Figura 37	91
Figura 38	94
Figura 39	95
Figura 40	95
Figura 41	97
Figura 42	97
Figura 43	98
Figura 44	101
Figura 45	106
Figura 46	164
Figura 47	165

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Determinación de volumen.....	74
Ecuación 2: Relación de volúmenes.....	75
Ecuación 3: Determinación de diámetro .....	75
Ecuación 4: Determinación de altura mínima .....	76
Ecuación 5: Determinación de ROI.....	93

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS .....	101
ANEXO 1 Manuales de correcto funcionamiento.....	101
ANEXO 2 planillas de control de la empresa Cascada del sur .....	159
ANEXO 3 Tabla resumen de planillas y gráficos de control de PH.....	161
ANEXO 4 Características de cada elemento del sistema de automatización.....	166