

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**" EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA
POTABILIZADORA DE AGUA ALTO SENAC DE LA CIUDAD DE
TARIJA”**

Por:

OROSCO CARO MARIANA BELEN

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
"JUAN MISAEL SARACHO" como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I - 2025

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**" EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA
POTABILIZADORA DE AGUA ALTO SENAC DE LA CIUDAD DE
TARIJA”**

Por:

OROSCO CARO MARIANA BELEN

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
"JUAN MISAEL SARACHO" como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I - 2025

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis padres, Jaime y Margarita,
pilares inquebrantables de mi vida,
cuyo amor, sacrificio y guía
hicieron posible este sueño.
A mis hermanos Hervin, Dario y
Nahomi, porque la familia no solo
está en el presente:
también se hace eterna en el
recuerdo.

Sin ustedes estas páginas en
blanco jamás se hubiera llenado.

Índice

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	PROBLEMA	2
1.2.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.2.	Formulación del problema	3
1.2.3.	Sistematización del problema	3
1.3.	OBJETIVOS.....	3
1.3.1.	Objetivo General	3
1.3.2.	Objetivos específicos	4
1.4.	JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4.1.	Justificación teórica.....	4
1.4.2.	Justificación metodológica.....	5
1.4.3.	Justificación práctica.....	5
1.5.	ALCANCE DEL ESTUDIO	6

CAPÍTULO 2

MARCO DE REFERENCIA

2.1.	MARCO TEÓRICO	7
2.1.1.	Principios de la Evaluación del Desempeño de Plantas de Tratamiento de Agua Potable.....	7
2.1.2.	Indicadores de Eficiencia de Procesos Unitarios	7
2.1.3.	Evaluación de Parámetros Hidráulicos y Operacionales en Plantas de Agua Potable.....	8
2.1.3.1.	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	8
2.1.3.2.	Tasa de Filtración	9
2.1.3.3.	Calibración de Dispositivos de Medición de Caudal	9
2.1.3.4.	Monitoreo Continuo y Control Operacional	10
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	10
2.2.1.	Parámetros de control de calidad del agua para consumo humano.....	11
2.2.2.	Plantas de tratamiento de agua o plantas potabilizadoras	14
2.2.3.	Tipos de plantas de tratamiento de agua	14

2.2.3.1. Plantas de filtración rápida.....	15
2.2.3.2. Filtración directa	16
2.2.4. Procesos unitarios en plantas potabilizadoras de agua.....	17
2.2.4.1. Pretratamiento	17
2.2.4.2. Coagulación.....	17
2.2.4.3. Filtración	18
2.2.4.4. Desinfección.....	19
2.3. MARCO ESPACIAL.....	19
2.3.1. Ubicación Geográfica.....	20
2.4. MARCO TEMPORAL	20
2.5. MARCO LEGAL	20

CAPÍTULO 3

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ALTO SENAC

3.1. GENERALIDADES DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA	23
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA EPSA.....	24
3.2.1. Componentes Estratégicos	25
3.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE PROCESOS UNITARIOS	25
3.3.1. Pretratamiento cribado o cernido	25
3.3.2. Coagulación.....	27
3.3.3. Filtración	29
3.3.4. Desinfección.....	31

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA E INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1. TIPO Y ENFOQUE DEL ESTUDIO	33
4.1.1. Tipo de investigación	33
4.1.2. Enfoque metodológico	33
4.2. MUESTREO	34
4.2.1. Puntos de muestreo	34
4.2.2. Frecuencia y condiciones del muestreo.....	36
4.2.3. Técnica de muestreo y conservación.....	36
4.2.4. Transporte de las muestras	37

4.2.5.	Laboratorios de análisis.....	37
4.3.	MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA 38	
4.3.1.	Potencial de hidrógeno (pH)	39
4.3.2.	Conductividad	40
4.3.3.	Turbiedad	41
4.3.4.	Temperatura.....	42
4.3.5.	Cloro residual	42
4.3.6.	Coliformes termorresistentes	43
4.4.	ENSAYO DE PRUEBAS DE JARRAS.....	44
4.5.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS OPERACIONALES	48
4.5.1.	Aforo de caudal de ingreso a la planta	48
4.5.2.	Aforo volumétrico del lavado de filtros	51
4.5.3.	Determinación del tiempo de retención hidráulico (TRH)	55
4.5.4.	Tasa de filtración	57
4.5.5.	Determinación de eficiencia de remoción.....	59
4.5.5.1.	Pretratamiento	59
4.5.5.2.	Coagulación.....	60
4.5.5.3.	Filtración	61
4.5.5.4.	Desinfección.....	62
4.5.5.5.	Tanque de almacenamiento (Salida de planta)	63

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5.1.	ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA DE LOS PROCESOS UNITARIOS.....	65
5.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA.....	70
5.2.1.	Análisis del cumplimiento de los parámetros de control mínimo.....	71
5.2.2.	Verificación de Resultados mediante Análisis Comparativo COSAALT- CEANID	72
5.2.3.	Ensayo de Pruebas de Jarras	74
5.3.	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS OPERACIONALES.....	75
5.3.1.	Análisis de Caudales Registrados	75
5.3.2.	Calibración y verificación del vertedero triangular	76

5.3.3.	Retrolavado de filtros.....	77
5.3.4.	Tiempo de retención hidráulico.....	78
5.3.5.	Tasa de filtración	79
5.3.6.	Eficiencia de remoción.....	80
5.3.6.1.	Pretratamiento	80
5.3.6.2.	Coagulación.....	80
5.3.6.3.	Filtración	81
5.3.6.4.	Desinfección.....	83
5.3.6.5.	Eficiencia general de la planta	84

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	CONCLUSIONES.....	86
6.2.	RECOMENDACIONES	88

BIBLIOGRAFÍA

PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de procesos en una planta de filtración directa.....	16
Figura 2 Filtración Directa en el tratamiento de aguas superficiales.....	17
Figura 3 Mezcladores mecánicos.....	18
Figura 4 Ubicación de la Planta Potabilizadora Alto SENAC.....	20
Figura 5 Diagrama de flujo de la Planta Potabilizadora Alto SENAC.....	24
Figura 6 Logo COSAALT R.L.....	25
Figura 7 Ingreso de la Planta Potabilizadora Alto SENAC.....	26
Figura 8 Sala de dosificación de la coagulación.....	27
Figura 9 Tanque de la mezcla rápida y agitador mecánico.....	28
Figura 10 Disposición de tanque de hidróxido de calcio.....	29
Figura 11 Batería de filtros.....	30
Figura 12 Dosificadores de cloro residual Hydro.....	32
Figura 13 Puntos de muestreos.....	35
Figura 14 Medición de la muestra en laboratorio.....	39
Figura 15 Análisis de muestra en Laboratorio.....	40
Figura 16 Turbidímetro y muestras de agua.....	41
Figura 17 Análisis en campo.....	42
Figura 18 Medición de la muestra de agua clorada in situ.....	43
Figura 19 Muestras de agua cruda y tratada para su análisis.....	44
Figura 20 Equipo de jarras PHIPPS & BIRD.....	45
Figura 21 Muestra de agua filtrada en papel filtro.....	46
Figura 22 Medición de la lámina de agua que pasa por la cresta del vertedero.....	49
Figura 23 Equipos y materiales utilizados en el aforo.....	52
Figura 24 Aforo del lavado de filtros.....	53
Figura 25 Adición del trazador químico.....	56
Figura 26 Tanque de almacenamiento.....	64
Figura 27 Eficiencia de remoción general de acuerdo a la turbiedad de entrada de la planta.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de control mínimo.	12
Tabla 2 Criterios de selección de tratamiento según la calidad del agua cruda plantas convencionales.....	15
Tabla 3 Coordenadas geográficas.....	20
Tabla 4 Resultados del ensayo de pruebas de jarras.	47
Tabla 5 Datos de altura y tiempos medidos.	50
Tabla 6 Determinación de Caudales.....	51
Tabla 7 Resultados del aforo volumétrico (n = 5).....	54
Tabla 8 Resumen de volumen de agua utilizada en el lavado de filtros.	54
Tabla 9 Tiempo de retención hidráulico por el método de trazadores.	57
Tabla 10 Resultados de la tasa de filtración.	58
Tabla 11. Comparación de parámetros de calidad del agua tratada con la Norma NB 512.....	71
Tabla 12 Comparación de resultados entre los laboratorios de COSAALT vs. CEANID.	73
Tabla 13 Resultados de pruebas de jarras.	74
Tabla 14 Resumen de resultados del TRH.	78
Tabla 15 Resultados de eficiencia de coagulación.....	81
Tabla 16 Eficiencia de la filtración.	82
Tabla 17 Eficiencia de remoción de la desinfección.....	83
Tabla 18 Eficiencia de remoción general de la planta.....	84

ANEXOS

ANEXO 1 MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LA PLANTA ALTO SENAC

ANEXO 2: PLANILLA DE VISITA TÉCNICA GENERAL

ANEXO 3: REGISTROS DE ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL
MÍNIMO

ANEXO 4 CALIBRACIÓN DEL VERTEDERO

ANEXO 5 AFORO VOLUMÉTRICO DEL LAVADO DE LOS FILTROS

ANEXO 6 TASA DE FILTRACIÓN

ANEXO 7 PRUEBA DE JARRAS

ANEXO 8 FICHA DE EVALUACIÓN DEL PRETRATAMIENTO.

ANEXO 9 FICHA DE EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN.

ANEXO 10 FICHA DE EVALUACIÓN DE LA FILTRACIÓN.

ANEXO 11 FICHA DE EVALUACIÓN DE LA DESINFECCIÓN.

ANEXO 12 FICHA DE EVALUACIÓN DEL ALMACENAMIENTO.

ANEXO 13 PLANILLA DEL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN POR
FECHAS DE MUESTREOS.

ANEXO 14 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO