

4

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

PROPUESTA DE TRATAMIENTO PRIMARIO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA EN EL ÁREA DE MASAS DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE CERÁMICAS

...

Fecha de recepción: 11/08/2025 | Fecha de aceptación: 22/08/2025

Autor(es):

**¹ Muñoz Duran Bryan Enrique,
² Leigue Fernández María Alejandra**

¹ Universidad Católica Boliviana San Pablo Sede Tarija

² Docente de Doctorado UAJMS

² Correspondencia del autor(es): aleigue@ucb.edu.bo



Propuesta de tratamiento primario y recirculación de agua en el área de Masas de una planta industrial de cerámicas

1. Introducción

La importancia de preservar los recursos hídricos es una tarea incesante a nivel global, en especial aquella destinada al uso para consumo humano, está siendo uno de los más grandes desafíos en las últimas décadas, debido a diversos factores como ser: el acelerado crecimiento poblacional, la falta de un buen manejo de los recursos hídricos, la contaminación de fuentes por distintas actividades humanas, el cambio climático y el requerimiento de grandes cantidades de agua en procesos industriales.

El sector industrial, si bien ha generado grandes avances en cuanto a procesos productivos, tecnológicos, de desarrollo e innovación, es uno de los sectores que más problemas ambientales ocasiona, debido a la envergadura de sus actividades, al uso excesivo de recursos naturales y generación de residuos que en muchos casos resultan ser tóxicos o peligrosos para el medio ambiente.

La empresa FABOCE en Bolivia (Faboce srl, 2020) es parte del Grupo Industrial Auzza formado por siete empresas y doce plantas industriales distribuidas en todo Bolivia, inició sus operaciones en 1992 en la ciudad de Cochabamba, con una producción mensual de 8.000 m². En el año 1998 la empresa logró la producción de revestimientos cerámicos para pisos y paredes, alcanzando una producción mensual de 174.000 m². FABOCE trabaja y cumple con procesos estandarizados bajo la norma (ISO 9001:2015, s.f.) y certificados por TUV RHEILAND (Rheinland, s.f.). Al ser una empresa líder en la industria cerámica, debe mantener altos estándares de calidad y de gestión ambiental.

La fábrica de cerámica FABOCE III ubicada en la ciu-

dad de Tarija está implementando una serie de lineamientos de producción más limpia para dar cumplimiento a su sistema de gestión ambiental, actualmente no cuenta con una sistema de tratamiento y recirculación de agua en su línea de producción, en especial del área de masas considerado el sector de mayor consumo diario, esta deficiencia incumple con los estándares de calidad previstos por la empresa de optimizar sus procesos constantemente, incurriendo paralelamente en un mayor costo del recurso hídrico.

Tal como indica (Enrique, Monfort, Busani, & Mallol, 2011): el agua juega un papel fundamental en todas las etapas del proceso de fabricación de cerámicas, actuando como materia prima o en funciones auxiliares.

Un método de optimización de recursos hídricos en los procesos de producción de cerámica se refiere a un sistema de tratamiento y de recirculación de agua en los equipos del área de Masas, sector de mayor consumo de agua dentro de la fábrica.

El contar con un sistema de tratamiento primario (físico) y recirculación de agua la empresa demuestra responsabilidad ambiental y social, ya que reducirá el índice de desechos enviados al sistema de tratamiento industrial y un menor consumo de agua para uso industrial, por ende, se logrará un menor impacto al medio ambiente.

2. Objetivos

2.1. Objetivo principal:

Proponer un sistema de tratamiento primario y recirculación de agua en el área de masas de la fábrica FABO-

CE III en la ciudad de Tarija, aportando a un consumo eficiente de agua y conseguir un ahorro económico a la empresa mediante la optimización de procesos industriales de este tipo y de recursos hídricos según la normativa de la ISO 9001:2015.

2.2. Objetivos secundarios:

Caracterizar el agua del área de masas para establecer los parámetros físicos más importantes que deberán removerse con el sistema de tratamiento propuesto.

- ▶ Estimar los caudales de purga del equipo atomizador (área de masas), mediante aforo de caudales con metodología estándar.
- ▶ Identificar y seleccionar el tipo de tratamiento de agua más adecuado.
- ▶ Determinar el número de reactores y el dimensionamiento de cada reactor.
- ▶ Proponer el sistema de recirculación interno de la planta y el sistema de tratamiento.
- ▶ Formular un plan de mantenimiento para los equipos de pretratamiento y tratamiento primario.
- ▶ Evaluar los costos del sistema de tratamiento propuesto.

3. Metodología y/o Caso de estudio

Inicialmente se procedió recabar información necesaria para la elaboración del estudio; en este sentido, con la colaboración del personal de la fábrica se hizo un reconocimiento del sitio, en especial del área de masas donde se pudo realizar un inventario de toda la maquinaria que se encuentra en el área de estudio, se realizó inicialmente una codificación primaria y secundaria.

Realizada la codificación, se prosiguió a calificar el consumo diario de agua de los equipos principales del área de masas, identificando los rangos de consumo detallados en la tabla 1 en orden de bajo, medio y elevado.

Tabla 1: Rango de Consumo

Consumo	Rango
Bajo	0-5,000 mil L/día
Medio	5,000-50,000 L/día
Elevado	50,000-150,000 L/día

Fuente: Elaboración Propia

Con los rangos de consumo, es posible realizar una calificación de los principales equipos, los que se detallan en la tabla 2.

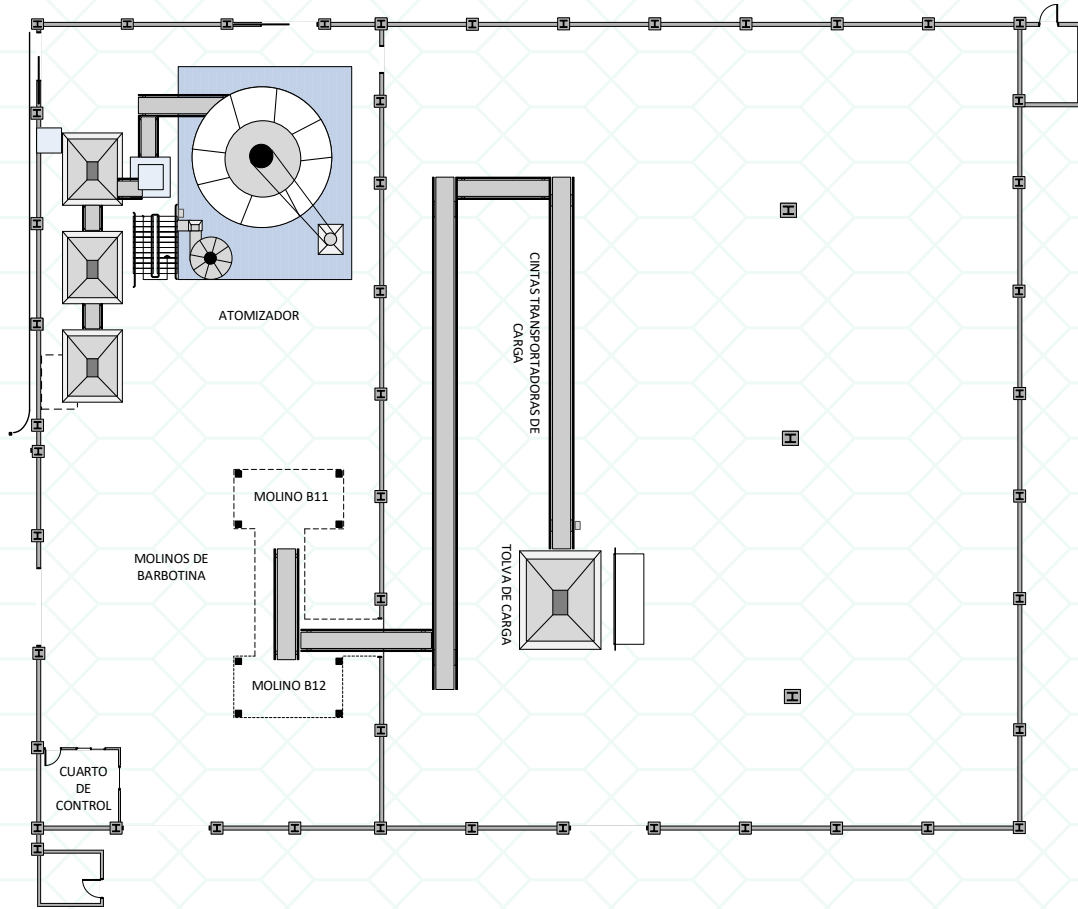
Tabla 2 Calificación de Consumo

Equipo	Codificación																Consumo						
	B	0	0	3	0	1	0	1	0	1	0	5	0	1	0	0	-	T	M	Bajo	Medio	Elevado	
Atomizador	B	0	0	3	0	1	0	1	0	1	0	5	0	1	0	0	-	T	M			X	
Molino B11	B	0	0	3	0	1	0	1	0	1	0	4	1	1	0	0	-	M	O	L		X	
Molino B12	B	0	0	3	0	1	0	1	0	1	0	4	1	2	0	0	-	M	O	L		X	
Cangilones	B	0	0	3	0	1	0	1	0	1	0	6	0	1	0	0	-	C	G	L	X		

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de la codificación y de la calificación de los equipos se evidencia que el Atomizador, ubicado en el área de masas es el que presenta elevado consumo de agua en su funcionamiento, siendo este proceso el que requiere la recirculación y tratamiento de aguas. Para mejor comprensión se ilustra el plano del área de Masas en la figura 1.

Figura 1: Plano de Área de Masas y Recepción e Materia Prima



Fuente: Elaboración Propia

3.1. Caracterización del agua en el área de masas

En lo referente a la caracterización de los parámetros de calidad de agua en el área de masa, se ha previsto considerar de acuerdo a las actividades en el área de masas, única-

mente los parámetros físicos, en la tabla 3 se detalla los resultados de dichos parámetros producto de la campaña de muestreo realizada.

Tabla 3: Resultados parámetros físicos del agua

Parámetro	Método de ensayo	Unidad	Valor	Límites permisibles		Referencias
				Min.	Máx.	
Sólidos Totales	SM 2540-B	mg/l	6270	Sin referencia		Sin referencia
Sólidos Suspendedos	SM 2540-D	mg/l	5656	500		LEY 1333
Turbiedad	SM 2540-B	UNT	2455,5	Sin referencia		Sin referencia

SM: Standard Methods mg/l: miligramos por Litro UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad

LEY 1333: Ley del Medio Ambiente en Bolivia

Fuente: Elaboración Propia

3.2. 3.2. Determinación de caudales:

El ciclo de lavado del atomizador se realiza una vez a la semana durante un periodo de una hora y veinte minutos idealmente, pero puede variar entre una hora y dos horas de acuerdo con el ciclo del lavado.

Se determinaron los caudales en función a las muestras obtenidas durante el ciclo de lavado (una hora con veinte minutos) por el método volumétrico (FAO, s.f.), obteniendo un resultado promedio de caudal pico $Q_p = 1.844,30 \text{ L/s}$.

3.3. Selección del proceso de tratamiento de agua en el área de masas

Una vez identificados los parámetros de calidad y el volumen de agua que se utiliza en este sector, se debe realizar una selección de alternativas de tratamiento, se recurrió a bibliografía especializada para poder definir

los principales procesos de tratamiento físicos recomendados para este caso, (METCALF & EDDY, 2011)

La selección de los procesos de tratamiento fue considerada de acuerdo a la superficie disponible en los predios, a las capacidades equipos y herramientas disponibles para su ejecución y posterior operación y mantenimiento, la disponibilidad de materiales en el mercado y los costos asociados a la implementación de dichos procesos; resultado del análisis, se optó por el tratamiento indicado en la tabla 4.

Tabla 4: Tratamiento de agua seleccionado para el área de masas

Pretratamiento	Tratamiento primario
Desbaste de rejas	Desbaste de rejas finas
Desarenador	Sedimentado primario
Desarenador aireado	

Elaboración Propia en base a (METCALF & EDDY, 2011)

4. Resultados

En las tablas 5, 6, 7 y 8 se resume el diseño y resultados de cada proceso de tratamiento para el área de masas en la fábrica de cerámicas FABOCE III.

Tabla 5: Diseño de Rejas

Descripción	Fórmula	Resultados
Canal de rejas - continuidad	$Q = A \cdot v$ $v = 0,60 \text{ m/s}$ $A = b \cdot H_a$	Altura $h = 0,23 \text{ m}$ Ancho $b = 0,70 \text{ m}$
Tirante máximo de agua	$H_a = \frac{At}{b}$	$H_a = 0,012 \text{ m}$
Área transversal del canal	$At = \frac{Qd}{V}$	$At = 0,0082 \text{ m}^2$
Pendiente del canal - Maning	$S = \left(\frac{(V \cdot n)^2}{R h^{\frac{2}{3}}} \right)^2$	$S = 2,39 \%$
Longitud de las barras	$L_b = \frac{h}{\text{sen}(\alpha)}$	$L_b = 0,30 \text{ m}$
Número de barras	$N_b = \frac{b + e}{(S_i + e)}$	$N_b = 23 \text{ barras}$
Longitud del canal	$L = 3,5 \cdot b$	$L = 2,45 \text{ m}$

Descripción	Fórmula	Resultados
Pérdida de carga	$H_f = \frac{1}{0,7} * \left(\frac{(V_c)^2 - (V)^2}{2 * g} \right)$	$V_c = 0,90 \text{ m/s}$ $H_f = 0,033 \text{ m}$
Retención de sólidos en las rejillas	Para una apertura de barras de 2 cm se retienen 27 cm ³ /m ³ .	0,01147 m ³ /d

Tabla 6: Diseño del desarenador

Descripción	Fórmula	Resultados
Velocidad de sedimentación	$V_s = \frac{(S - 1) * g * d^2}{18 * \nu}$	$V_s = 0,027 \text{ m/s}$
No es régimen de flujo laminar	$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$	$V_s = 0,023 \text{ m/s}$
	$V_s = \sqrt{\frac{((4 * g * d * (S - 1))}{(3 * C_d))}}$	
Velocidad horizontal	$V_d = a * \sqrt{d}$	$V_d = 0,27 \text{ m/s}$
Sección transversal del desarenador	$A_t = \frac{Q_d}{V_d}$	$A_t = 0,018 \text{ m}^2$
Tirante de agua máxima de canal	$H_a = \frac{A_t}{V_d}$	$H_a = 0,0182 \text{ m}$
Dimensiones	$L = \frac{V_d * h}{V_s - 0,04 * V_d}$	$L = 0,41 \text{ m}$
Se asume L = 10,65	$l = \frac{B - B'}{2 * \tan(\alpha)} < \frac{L}{3}$	$l = 0,094 \text{ m}$ cumple

Fuente: Elaboración Propia en base a (METCALF & EDDY, 2011)

Tabla 7: Diseño del desarenador aireado

Descripción	Fórmula	Resultados
Volumen de la cámara desarenadora	$V = \frac{1}{2} * T * Q_{max}$	$V = 0,57 \text{ m}^3$
Dimensiones de la cámara	Profundidad = 1,50 m Ancho = 1,2 * profundidad	Ancho = 1,80 m $L = 0,21 \text{ m}$
Tiempo de retención	$L = \frac{V}{\alpha * h}$ $Tr = \frac{V}{Q}$	$Tr = 5,14 \text{ min}$
Requisitos de aire	Aire = L * aire necesario	Aire = 0,06 m ³ /min p/2 cámaras = 0,13 m ³ /min
Cantidad arena a gasto pico	Cantidad arena 0,00005 m ³ /m ³ . $V = Q_{max} * \text{cantidad arena}$	$V = 0,02 \text{ m}^3/\text{d}$

Tabla 8: Diseño del Tratamiento Primario

Descripción	Fórmula	Resultados
Desbaste rejas finas <ul style="list-style-type: none"> Área transversal del flujo del canal Tirante máximo de agua Pendiente del canal 	$At = \frac{Qd}{V}$ $Ha = \frac{At}{b}$ $S = \left(\frac{(V * n)}{Rh^{\frac{2}{3}}} \right)^2$	<p>At= 0,041 m².</p> <p>Ha = 0,0012 m</p> <p>Ht= 0,21 m; b = 0,35 m</p> <p>S = 2,49%</p>
Sedimentador primario	$A = \frac{Q}{CS}$	<p>A = 2,7 m².</p>
Dimensiones	Relación de longitud: ancho, L:W 4:1	
Carga superficial	$CS = \frac{Q}{A}$	Cs= 0,78 m³/m²*d
Volumen	V= A * Hmed	V = 306,21 m³.
Tiempo de retención hidráulico	$TRH = \frac{V}{Q}$	
Volumen de lodos	Volumen por minuto = 0,0008	TRH = 92,25 h
Capacidad de bombeo	$Capacidad\ de\ bombeo = \frac{volumen * min * Tt}{Td}$	Capacidad de bombeo = 0,013 m³/min*-tanque
Cárcamo de bombeo	Volumen de Cárcamo = 57,5 m3	
Bombeo a planta de tratamiento, by-pass		<p>Caudal diseño / 1 bomba 60,00 L/s</p> <p>Caudal teórico / 2 bombas 120,00 L/s</p> <p>Caudal teórico / 3 bombas 180,00 L/s</p> <p>Caudal teórico / 4 bombas 240,00 L/s</p>

Fuente: Elaboración Propia en base a (METCALF & EDDY, 2011)

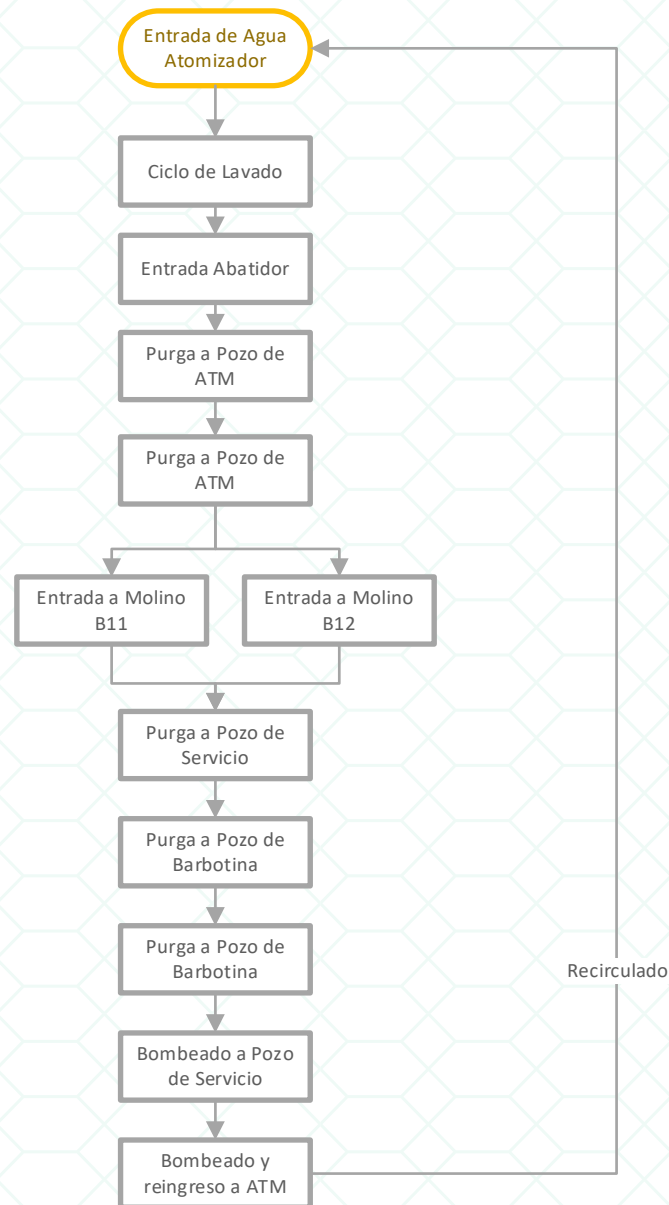
4.1. Sistema de recirculado:

Para el diseño del sistema de recirculado, primeramente se incorporó un sistema inicial al área de masas en la cual se recupera el 90% del agua ingresada día; inicialmente, el agua solo era recirculada y no recibía ningún tipo de tratamiento, por lo que cuando esta reingresaba en los equipos más importantes se podía observar la mayor concentración de barbotina en la purga final

del equipo, haciendo que se realice un control semanal para su lavado y preparación para inicio de semana laboral, situación que generaba muchos problemas operativos y desgaste de los equipos.

Para mejor comprensión del sistema de recirculación, se describe el proceso en la figura 2.

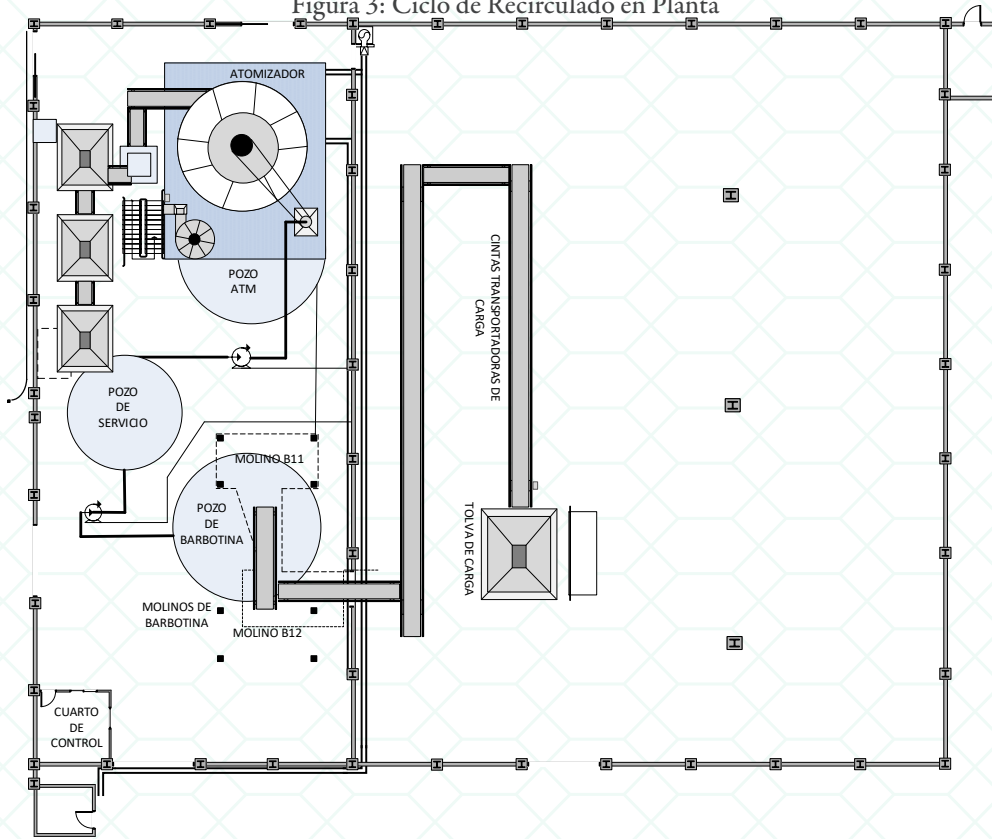
Figura 2: Ciclo de Recirculado



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3 se puede observar el proceso de recirculación implementado actualmente y denominado etapa 1 del trabajo, se incluye la visualización de los pozos existentes en el área de masas, las tuberías y las bombas utilizadas en su respectivo sistema de recirculación y salida del ciclo, el cual se realiza semanalmente y se purga paralelamente en las áreas de masas y recepción de materia prima para su salida a un campo de regado.

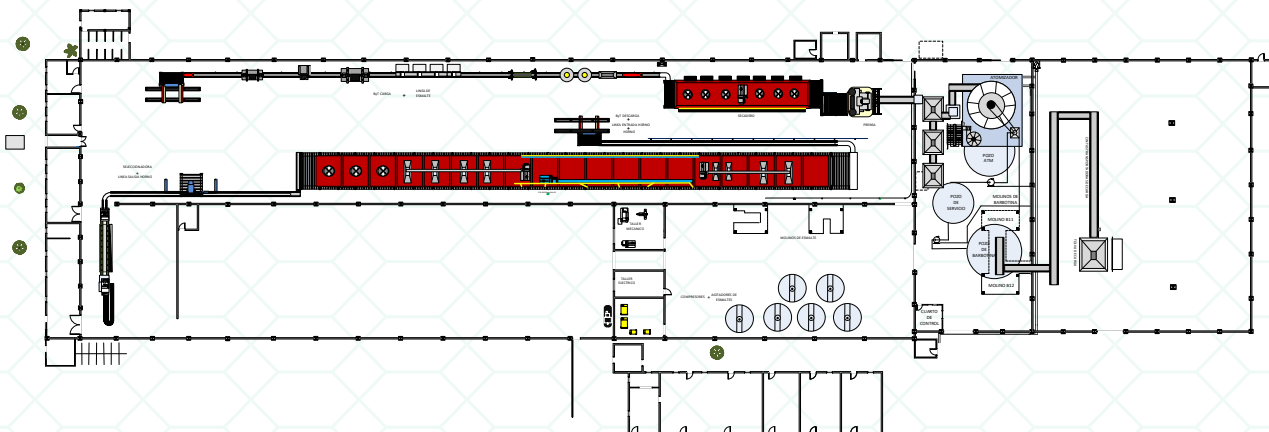
Figura 3: Ciclo de Recirculado en Planta



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4 se presenta el plano general de la Fabrica FABOCE III, y se puede observar la implementación de los pozos de recirculado de la etapa 1 del ciclo ya en funcionamiento.

Figura 4: Ciclo de Recirculado General



Fuente: FABOCE III

4.2. Plan de operación y mantenimiento

Todo proceso de tratamiento y recirculación de aguas depende de la eficiencia en su operación y mantenimiento para garantizar la vida útil para la cual ha sido dimensionado, por lo que, es fundamental establecer lineamientos básicos de control y monitoreo de cada proceso unitario, que sirvan para establecer la frecuencia de revisión y aplicación de medidas preventivas y correctivas. A continuación, se detallan las actividades más importantes a considerar para el éxito de la operación y mantenimiento del sistema implementado.

a. Cámara de tratamiento

Es la cámara más importante del ciclo de tratamiento por lo cual se debe tomar mayor delicadez y seriedad a la hora de realizar su mantenimiento para así alargar su vida útil y optimizar su utilización, siendo las actividades más importantes las siguientes:

- ▶ Medición espesores de las capas flotantes - frecuencia semestral.
- ▶ Medición lodos de acumulación al interior del tanque frecuencia semestral.
- ▶ Remoción de los gases tóxicos - frecuencia anual.
- ▶ Control de la calidad del efluente drenado - frecuencia mensual.
- ▶ Purga de lodos del tanque - frecuencia semestral.

b. Canales, rejas gruesas, rejas finas

Estos componentes del ciclo tienen un nivel de importante poco relevante porque su función es solo evitar las grandes concentraciones de lodos y rocas de barbotina que pueden formar cuando el atomizador el parado, las actividades son las siguientes:

- ▶ Limpieza del canal principal - frecuencia semestral.

- ▶ Control del nivel de lodos en el canal principal - frecuencia mensual.
- ▶ Control del nivel de sedimentos en rejas gruesas y finas - frecuencia mensual.
- ▶ Limpieza de rejas gruesas y finas – frecuencia semestral

c. Desarenador

Es parte fundamental del tratamiento preliminar el reducir los niveles de sólidos en el agua que se va a tratar, por lo que su mantenimiento es muy necesario para que el ciclo de tratamiento sea óptimo y se trabaje en condiciones que no dañen a los equipos, las actividades son:

- ▶ Control del nivel de lodos en el canal de entrada - frecuencia mensual.
- ▶ Control del nivel de arena en la tolva de almacenamiento - frecuencia mensual.
- ▶ Limpieza del desarenador – frecuencia semestral.
- ▶ Liberación de arena – frecuencia semestral.
- ▶ Revisión del estado de las tuberías - frecuencia anual.

4.3. Estimación de costos

Así mismo, se vio conveniente considerar la estimación de costos que significaría la implementación del sistema propuesto, puesto que con este recurso la empresa tendrá una idea para incluirla dentro de sus gastos operativos y de producción, además aplicar medidas en la gestión ambiental que implementar actualmente, el resultado del análisis de costos de implementación del sistema está detallado en la tabla 9 y tabla 10, la primera con los volúmenes de obra y la segunda los costos asociados.

Tabla 9: Tabla Resumen Volúmenes de reactores

Reactor	Cantidad	Dimensiones				Ancho de muro	Area1 Reactor	Área total reactores
		Ancho	Alto	Largo	Diámetro			
		m	m	m	m	m	m2	m2
Canal de entrada	2	0,70	0,55	14,42	-	0,20	16,08	32,16
Canal de rejillas gruesas	1	0,70	0,23	2,5	-	0,20	2,75	2,75
Desarenador	2	3,50	3,00	12,00	-	0,20	46,80	93,60
Sedimentador primario	2	3,00	3,00	9,00	-	0,20	31,96	63,92

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Presupuesto general del proyecto

	DESCRIPCIÓN		PRECIO EN BS.	PRECIO EN \$us.
M-1	ACTIVIDADES PRELIMINARES	Subtotal	500,00	71,83
M-2	CANAL DE ENTRADA	Subtotal	3.763,05	540,67
M-3	REJAS DE DESBASTE	Subtotal	12.150,54	1.745,77
M-4	DESARENADOR	Subtotal	40.303,33	5.790,71
M-5	SEDIMENTADOR PRIMARIO	Subtotal	30.171,59	4.335,00
	TOTAL.		86.888,51	12.483,98

Fuente: Elaboración Propia

5. Conclusiones

- ▶ Con los resultados de la caracterización de los parámetros físicos del agua y la estimación de caudales, se lograron identificar y seleccionar los procesos de tratamiento que mejor se adecuaron para el área de masas de la fábrica objeto de estudio.
- ▶ Con el sistema de recirculación y tratamiento del agua propuesto a la salida del atomizador en el área de masas, se ha conseguido una mejor eficiencia del ciclo de recirculado, durabilidad de los equipos, garantizando la recirculación del agua tratada y generando un ahorro de consumo de agua importante, alrededor del 90% del rango de 50,000-150,000 L/día.
- ▶ La elaboración de un plan de mantenimiento refuerza y optimiza el funcionamiento de los equipos, prolongar su duración y reducir costos de reparación.
- ▶ La presente comunicación está alineada a los siguientes ODS: ODS 9 Industria, innovación e infraestructura puesto que promueve la industrialización sostenible innovando áreas del pro-

ceso interno con a fin de minimizar el consumo del agua; y con el ODS 11: ciudades y comunidades sostenibles, ya que busca soluciones a los problemas de gestión de los recursos naturales utilizados en el sector industrial, que afectan a ciudades pequeñas como es el caso de Tarija.



6. BIBLIOGRAFÍA

- ▶ Enrique, J., Monfort, E., Busani, G., & Mallol, G. (2011). Reciclado de aguas residuales en la fabricación de baldosas cerámicas. *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.*, 149-154.
- ▶ *Faboce srl.* (2020). Obtenido de <https://www.fabocce.com.bo/>
- ▶ FAO, O. d. (s.f.). *fao.org*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/t0848s/t0848s06.htm>
- ▶ ISO 9001:2015. (s.f.). *iso.org*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- ▶ METCALF, & EDDY, I. (2011). *Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización, Volumen I*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- ▶ Rheinland, T. (s.f.). *tuv.com*. Obtenido de https://www.tuv.com/argentina/es/?wt_mc=126478940816_540093182117&wt_kw=_126478940816_&cpid=AR23_S01_CALLID_GA