



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado de la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica para su reutilización en el proceso

VANESSA ANTONIETA FIGUEROA TRUJILLO

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA

Riobamba – Ecuador

DICIEMBRE 2022

© 2022, **Vanessa Antonieta Figueroa Trujillo**

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



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado **Diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado de la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica para su reutilización en el proceso**, de responsabilidad de la Sseñora **VANESSA ANTONIETA FIGUEROA TRUJILLO** ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Dr. Galo Briam Montenegro Córdova; Ph. D.
PRESIDENTE



Firmado electrónicamente por:
**GALO BRIAM
MONTENEGRO
CORDOVA**

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas; Mag.
DIRECTOR



Firmado electrónicamente por:
**MARCO RAUL
CHUIZA**

Ing. Danielita Fernanda Borja Mayorga; Mag.
MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
**DANIELITA
FERNANDA BORJA
MAYORGA**

(Ing. Segundo Hugo Calderón; Mag.
MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
**SEGUNDO HUGO
CALDERON .**

Riobamba, diciembre de 2022

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, VANESSA ANTONIETA FIGUEROA TRUJILLO, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Vanessa Antonieta Figueroa Trujillo,

N° Cédula: 1500718307

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, VANESSA ANTONIETA FIGUEROA TRUJILLO, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes 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 proyecto de investigación de maestría.

Vanessa Antonieta Figueroa Trujillo,

N° Cédula: 1500718307

DEDICATORIA

El presente trabajo, lo dedico a Dios por bendecirme y permitirme cumplir mis objetivos, a mi familia por ser mi apoyo incondicional, y motivarme a seguir luchando día a día para ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por guiarme en cada escalón de mi vida, a mi hijo por ser mi fortaleza y apoyo incondicional, a mi madre por el esfuerzo y cariño brindado, a mi padre a pesar que no está conmigo, pero implanto en mí el deseo de superación para lograr mis metas, a mi tutor el Ing. Marco Chuiza y a mis colaboradores el Ing. Danielita Borja y el Ing. Hugo Calderón por sus enseñanzas y aporte invaluable a este proyecto, al Tglo. Edwin Martínez, jefe del área de preparación de esmaltes, por darme la apertura para la realización de este proyecto, y a todas esas personas que dieron un granito de arena para esta investigación.

A todos ellos mi eterno y sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación	1
1.1.1. Situación problemática	1
1.1.2. Formulación del problema	1
1.1.3. Problemas específicos	2
1.2. Justificación del proyecto.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Hipótesis.....	3
1.4.1. Hipótesis general	3
1.4.2. Hipótesis específicas	3
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Marco conceptual.....	6
2.2.1. Agua residual.....	6
2.2.3. Proceso cerámico	7
2.2.4. Esmaltado y decorado.....	8
2.2.5. Preparación de los esmaltes.	9
2.2.6. El agua en el proceso de fabricación de baldosas	9
2.3. Bases teóricas. Diseño experimental propuesto de la planta de tratamiento.	9
2.3.1. Caudal de diseño.....	9
2.3.2. Volumen de diseño.....	10
2.3.3. Cribado o desbaste	11
2.3.4. Tanque de recepción de agua residual.....	15
2.3.4.1. Volumen del tanque de recepción de agua residual.....	15
2.3.5. Floculador mecánico (agitador de paleta)	17
2.3.6. Lecho de secado de fangos.	20
2.3.7. Tanque de almacenamiento del agua tratada	22
2.4. Marco Conceptual.....	23
2.4.1. Agua residual industrial.	23

2.4.2. <i>Alúmina de alta densidad.</i>	23
2.4.3. <i>Arcillas.</i>	23
2.4.4. <i>Caolines.</i>	23
2.4.5. <i>Cuerpos moledores</i>	24
2.4.6. <i>Efluente.</i>	24
2.4.7. <i>Fritas.</i>	24
2.4.8. <i>Molinos Alsing.</i>	24
2.4.9. <i>Pigmentos.</i>	24
2.4.10. <i>Sedimentación.</i>	24
CAPÍTULO III	25
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	25
3.1. Metodología	25
3.1.1. <i>Tipo y diseño de la investigación.</i>	25
3.1.2. <i>Método de investigación</i>	25
3.1.3. <i>Enfoque de la investigación</i>	25
3.1.4. <i>Identificación de variables.</i>	25
3.1.5. <i>Operacionalización de variables</i>	27
3.1.6. <i>Matriz de consistencia</i>	28
3.2 Diseño de la investigación	30
3.3. Población de estudio	30
3.4. Unidad de análisis.	30
3.5. Selección de la muestra.	31
3.6. Tamaño de la muestra	31
3.7. Técnica de recolección de datos.	31
3.8. Tratamiento y diseño experimental.	32
3.8.1. <i>Elaboración de las propuestas</i>	32
3.8.2. <i>Análisis de las propuestas</i>	33
CAPÍTULO IV	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Resultados del muestreo de agua residual de la industria cerámica	36
4.2. Tratamiento del agua residual.	38
4.2.1. <i>Pruebas de tratabilidad. Test de Jarras</i>	39
4.2.2. <i>Resultados de caracterización del agua tratada.</i>	40
4.3. Cargas de esmalte con agua clarificada.	41
4.4. Cálculo del porcentaje de remoción	42
4.4.1. <i>Cálculo del porcentaje de remoción de turbiedad (Prueba 5)</i>	42
4.5. Validación del tratamiento	44

4.5.1. Cálculos para dosificaciones de químicos para la prueba industrial	44
4.5.2. Preparación del esmalte y engobe.	45
4.5.3. Aplicación en la línea de esmaltación de porcelanato.	45
4.5.4. Análisis en producto terminado.....	46
CAPÍTULO V.....	48
5. PROPUESTA DE LA PLANTA DE TRATABILIDAD.	48
5.1. Caudal de diseño.....	48
5.2. Cribado o desbaste.	48
5.2.1. Selección parámetros de la reja.....	48
5.2.2. Cálculo de la eficiencia de la barra	48
5.2.3. Cálculo de la suma de separaciones entre barrotes	49
5.2.4. Cálculo del área entre espacios	49
5.2.5. Cálculo de la velocidad del agua entre los espacios de la rejilla.	49
5.2.6. Cálculo del número de barras (n)	50
5.2.7. Calculo de pérdidas de carga en rejas parcialmente sucias.....	50
5.2.8. Calculo del ajuste de ancho de la rejilla.	50
5.2.9. Cálculo de la longitud total del canal.....	51
5.3. Tanque de recepción del agua residual.....	51
5.3.1. Volumen del tanque de recepción del agua residual	51
5.3.2. Área del tanque de recepción del agua residual	51
5.3.3. Longitud del tanque de recepción del agua residual	52
5.3.4. Inclinación del fondo del tanque de recepción del agua residual.	52
5.4. Floculador mecánico (agitador paleta).....	52
5.4.1. Criterio para diseño de floculadores mecánicos.	52
5.4.2. Cálculo del volumen del floculador.....	52
5.4.3. Cálculo de la potencia disipada de la mezcla	53
5.4.4. Cálculo del área del floculador	54
5.4.5. Cálculo del área de las paletas movimiento.	54
5.4.6. Cálculo de la velocidad diferencial.	54
5.4.7. Cálculo de la velocidad de las paletas.	55
5.4.8. Cálculo de la velocidad de rotación	55
5.4.9. Cálculo del número adimensional de camp.	56
5.4.10. Dosificaciones de químicos en el floculador	56
5.5. Lecho de secado de fangos	56
5.5.1. Volumen diario de fangos digeridos.....	56
5.5.2. Volumen del lecho de secado.....	57
5.5.3. Área del lecho del secado	58

5.5.4. Longitud del lecho del secado	58
5.6. Tanque de almacenamiento del agua tratada.....	58
5.6.1. Volumen del tanque de almacenamiento del agua tratada	58
5.6.2. Altura del tanque de almacenamiento del agua tratada	59
5.6.3. Longitud del tanque de almacenamiento del agua tratada	59
5.7. Comprobación de hipótesis.....	59
5.7.1. Hipótesis general	59
5.7.2. Hipótesis específicas	60
5.7.3. Discusión de resultados	60
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES	63
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Cantidad de agua utilizada en la limpieza de molinos al día.	10
Tabla 2-2. Factores de diseño de cribas.....	12
Tabla 3-2. Factores de diseño de floculadores mecánicos.	17
Tabla 4-2. Coeficiente de arrastre	19
Tabla 1-3. Operacionalización de variables.....	27
Tabla 2-3. Matriz de consistencia.....	28
Tabla 3-3. Análisis químico de aguas residuales en preparación de esmaltes sin depurar.	32
Tabla 4-3. Molinos ALSING del área de preparación de esmaltes.....	33
Tabla 5-3. Cantidad de agua por producto.....	33
Tabla 6-3. Resultados caracterización muestras M1 y M2	34
Tabla 1-4. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales en la fabricación de cerámica refractaria y no refractaria, para uso estructural y no estructural.	36
Tabla 2-4. Parámetros a tratar en la muestra M2	38
Tabla 3-4. Ensayo 1-Pruebas de tratabilidad	39
Tabla 4-4. Ensayo 2- Pruebas de tratabilidad	39
Tabla 5-4. Ensayo 3- Pruebas de tratabilidad	39
Tabla 6-4. Ensayo 4- Pruebas de tratabilidad	40
Tabla 7-4. Caracterización pruebas 5,6,11 y 13.....	40
Tabla 8-4. Elaboración del engobe EM-186.....	41
Tabla 9-4. Elaboración del esmalte M-09194.....	41
Tabla 10-4. Porcentaje de remoción para cada parámetro	42
Tabla 11-4. Prueba industrial agua residual.....	44
Tabla 12-4. Condiciones de descarga de esmalte y engobe.	45
Tabla 13-4. Condiciones de aplicación en la línea de esmaltación.	45
Tabla 14-4. Determinación de la resistencia química.	47
Tabla 15-4. Resistencia a las manchas.	47
Tabla 1-5. Factores de diseño.....	48
Tabla 2-5. Factores de diseño.....	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Proceso de fabricación de cerámicas.....	8
Gráfico 1-3. Diagrama del proceso de investigación.....	30
Gráfico 1-4. Datos obtenidos en la caracterización de muestras M1 y M2 (Sólidos y sulfatos) ..	37
Gráfico 2-4. Datos obtenidos en la caracterización de muestras M1 y M2 (Demás parámetros) .	37
Gráfico 3-4. Porcentajes de remoción	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Vista del área de cribado.....	12
Figura 2-2. Zona de cribado- PTAR Manilla.....	12

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Resultados de los análisis físico-químicos de agua cruda y agua residual.

Anexo B: Resultados de los análisis físico-químicos del agua tratada

Anexo C: Toma de muestras.

Anexo D: Área de preparación de esmaltes.

Anexo E: Tratamiento de agua residual

Anexo F: Cargas de esmalte con agua clarificada.

Anexo G: Validación del tratamiento. Prueba Industrial

Anexo H: Análisis en producto terminado

Anexo I: Ficha técnica del EXRO 614

Anexo J: Ficha técnica del EXRO 663

Anexo K: Resultados del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del área de preparación de esmaltes.

Anexo L: Análisis de costos

Anexo M: Diagrama de flujo del sistema de tratamiento del agua residual.

Anexo N: Vista superior y lateral del sistema de tratamiento del agua residual

RESUMEN

El propósito de la presente investigación es el diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado de la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica para su reutilización en el proceso, se utilizó el método experimental para realizar el presente estudio, la técnica elegida fue el muestreo, se tomaron dos muestras M1 (Agua cruda del pozo) y M2 (Agua residual después del proceso), a las muestras tomadas se les realizó un análisis de caracterización basado en el Estándar Métodos y el Manual de Procesos Hach, utilizando técnicas gravimétricas, volumétricas e instrumentales. Seguidamente se realizaron pruebas de tratabilidad para acondicionar el agua residual a parámetros similares que el agua cruda del pozo, se trató: *turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, cloruros, sulfatos, Demanda Química de Oxígeno, calcio y magnesio*, mediante la adición de un coagulante EXRO 614 (4800 ppm) y floculante EXRO 663 (1,12 ppm). Los factores de remoción de los parámetros están en un rango de 90-100%, lo que indica la efectividad de las pruebas de tratabilidad. El tratamiento realizado se validó mediante pruebas industriales donde se determinó que el agua residual tratada no interfiere en la reología de un esmalte, tampoco presenta defectos en el producto terminado. Con los datos obtenidos de consumos, se diseñó un sistema para tratar el agua residual que constará del área de cribado, tanque de recepción, floculador, y un lecho de secado donde se depositarán los sólidos que también van a ser reutilizados en el proceso de esmaltado.

Palabras clave: <PROCESOS HACH>, <FLOCULANTE EXRO>, <ÁREA DE ESMALTADO>, <COAGULANTE EXRO>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <PRUEBAS DE TRATABILIDAD>.



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**



19-10-2022

0149-DBRA-UPT-IPEC-2022

SUMMARY

The purpose of the present investigation is the design of a treatment system for the waters coming from the enameling/glazing area of the flooring plant of the Ecuacerámica company for its reuse. In the process, the experimental method was used to carry out the present study. The chosen technique was sampling, two samples M1 (raw water from the well) and M2 (residual water after the process) were taken, the samples taken were subjected to a characterization analysis based on the Standard Methods and the Hach Process Manual, using gravimetric, volumetric, and instrumental techniques. Following, treatability tests were carried out to condition the residual water to that of similar parameters as the raw water from the well, the aspects treated: *turbidity, suspended solids, settleable solids, chlorides, sulfates, Chemical Oxygen Demand, calcium and magnesium*, by adding a EXRO 614 coagulant (4800 ppm) and EXRO 663 flocculant (1.12 ppm). The removal factors of the parameters are in a range of 90-100%, which indicates the effectiveness of the treatability tests. The treatment carried out was validated through industrial tests where it was determined that the treated wastewater does not interfere with the rheology of a glaze, nor does it present defects in the finished product. With the data obtained from consumption, a system was designed to treat the residual water that will consist of the screening area, reception tank, flocculator, and a drying bed where the solids that will also be reused in the enameling process will be deposited.

Keywords: <HACH PROCESSES>, <FLOCCULANT EXRO>, <GLAZING AREA>, <EXRO COAGULANT>, <RESIDUAL WATER TREATMENT>, <TREATABILITY TESTS>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

En el presente trabajo de investigación se plantea el diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de preparación de esmaltes de la planta de Pisos de la empresa Ecuacerámica para su reutilización en el proceso, en base al diagnóstico actual, cuyo principal objetivo es tratar el agua que se desperdicia en la preparación de esmaltes, así como en la limpieza, para reutilizarla en el proceso de molienda de nuevos esmaltes.

1.1.1. Situación problemática

Para la preparación de esmaltes en la planta de Pisos de la Empresa Ecuacerámica se cuenta con nueve molinos de Bolas con cuerpos molidores de alúmina de alta densidad, que tienen capacidades desde 1000 hasta 17000 kilos de sólidos, estos abastecen de esmalte a las tres líneas de producción. Diariamente se necesita un aproximado de 14000 kilos de esmalte sólido para las tres líneas de producción, necesiándose 5040 kilos de agua para el proceso de molienda, del esmalte producido un 5% se pierde, en el transporte hacia las líneas de esmaltado y en los silos de almacenamiento, siendo 950 kilos que se estarían perdiendo.

Para cada cambio de esmalte que se requiera preparar, se debe realizar una limpieza del molino, y es aquí donde se produce un mayor consumo de agua, se necesitan 1000 litros de agua para limpiar un molino pequeño, tanto el agua como los sólidos de esmalte se depositan en la cisterna, después el agua es desechada a la alcantarilla.

Lo que se pretende es dar un tratamiento al agua proveniente del área de preparación de esmaltes, ya que es una cantidad considerable que se desecha, y reutilizarla nuevamente en el proceso.

1.1.2. Formulación del problema

¿El Diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado permitirá la reutilización de las mismas en el proceso de producción de esmaltes de la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica?

1.1.3. Problemas específicos

- a. ¿Cuál será el sistema óptimo para tratar el agua proveniente de la limpieza de los molinos de esmaltes?
- b. ¿Cuáles son las variables o parámetros más significativos?

1.2. Justificación del proyecto

El agua tiene gran importancia para la preparación de esmaltes: si proviene de la red se puede proceder, en caso de necesidad aun intercambio iónico; si proviene de un pozo, debe ser sometida a diferentes operaciones en función del tipo de impurezas presente: filtro de arena, de carbonos activos, hidrociclones, intercambio iónico. (Cerámicos, 2004), esto hace que la demanda creciente de agua para uso industrial y la legislación, cada vez más estricta, en el control de la contaminación, han dado origen a un incremento constante de los costes de abastecimiento de agua para las industrias y el tratamiento de los efluentes, por ello se ha planteado la posibilidad de recircular los vertidos en el propio proceso de fabricación.

En el proceso industrial de elaboración de piezas cerámicas varios materiales arcillosos son mezclados de acuerdo a la dosificación establecida por el departamento de Investigación y Desarrollo los cuales, son sometidos a procesos continuos de: molienda, atomización, prensado, esmaltado, decorado, cocción, clasificación y embalaje (producto terminado) (Influencia de la molienda húmeda en el comportamiento estructural y mecánico de los productos cerámicos conformados por extrusión de una arcilla del Zulia (Norte de Santander, Colombia), 2019), teniendo en cuenta que en los diversos procesos se requiere de una limpieza continua, lo que con lleva a un consumo excesivo de agua, que es eliminada al sistema de alcantarillado.

En el área de preparación de esmaltes una vez preparado el esmalte, se procede a la limpieza de los molinos utilizando una gran cantidad de agua, que junto con el esmalte que se encuentra adherido en los cuerpos molidores se desperdicia. Por eso es conveniente desarrollar un sistema de tratamiento para que el agua proveniente de la limpieza sea tratada y vuelva a integrarse al proceso, a su vez también se podrá recuperar los sólidos de esmalte que se encuentran disueltos. Permitiendo a la empresa un ahorro en materias primas y consumo de agua.

1.3. Objetivos de la investigación.

1.3.1. Objetivo general

- a. Diseñar un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado de la planta de Pisos de la empresa Ecuacerámica para su reutilización en el proceso.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Diagnosticar el manejo de efluentes del área de esmaltado en la actualidad.
- b. Caracterizar las aguas provenientes de la limpieza del área de esmaltado de la planta de pisos en la empresa Ecuacerámica.
- c. Realizar pruebas de tratabilidad a las aguas provenientes de la limpieza.
- d. Diseñar el sistema de tratamiento más adecuado para la recuperación del agua y sólidos de esmalte.
- e. Validar el diseño propuesto usando el agua recuperada en la preparación de un esmalte.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado de la planta de Pisos de la empresa Ecuacerámica permitirá recuperar el agua y los sólidos disueltos para ser incorporados nuevamente en el proceso.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a. Al realizar el diagnóstico del manejo de efluentes del área de esmaltado se evidenciará la problemática actual.
- b. La Caracterización de las aguas provenientes de la limpieza del área de esmaltado de la planta de pisos en la empresa Ecuacerámica nos mostraran los parámetros que se hallan fuera de norma.

- c. Al realizar pruebas de tratabilidad a las aguas provenientes de la limpieza se encontrará el tratamiento óptimo al que se someterá a las mismas.
- d. Al Diseñar el sistema de tratamiento más adecuado para la recuperación del agua y sólidos de esmalte, se garantiza que se puede reutilizar el agua y lo sólidos de esmalte en el proceso.
- e. Al validar el diseño propuesto usando el agua recuperada en la preparación de un esmalte se comprueba que el agua ha sido tratada adecuadamente.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo del proyecto, como referencia se recurre a los estudios anteriormente realizados sobre temas afines a la propuesta que respaldan la investigación y establecen, métodos de análisis.

Entre estos trabajos se tienen los siguientes:

- a. En el trabajo de investigación (J.E, E, G, & G, 2000) se menciona la importancia de la “utilización del agua en todas las etapas del proceso de fabricación de baldosas cerámicas ya que juega un papel muy importante, realizando funciones específicamente tecnológicas, en las que actúa como materia prima, o en funciones auxiliares”

Aportando con la conclusión más relevante que la implantación de un sistema de reciclado de las aguas residuales y de residuos desde el punto de vista económico y medioambiental en el propio proceso de fabricación, constituye la mejor tecnología disponible para tratar esas corrientes residuales y reutilizarlas en el proceso.

- b. Por otro lado, en el artículo científico (MARTINS, ARAÚJO DE ALMEIDA, ALMEIDA, MACARICO, & DA FONSECA, 2016) menciona “Los efluentes deben ser tratados y procesados, con el fin de minimizar el impacto ambiental. En general, los efluentes producidos en las fábricas de cerámica contienen los mismos elementos que las materias primas y pueden reincorporarse al ciclo productivo”

De igual manera, este artículo científico aporta con la conclusión más relevante:

Al analizar los resultados se concluye que es posible lograr el objetivo principal de la investigación, la reincorporación de parte de los efluentes líquidos producidos diariamente. La mayoría de los parámetros de calidad se cumplen, pero es obligatoria la implementación de un sistema de almacenamiento, independiente del origen de cada efluente y para su posterior tratamiento.

- c. Mientras que en la tesis de investigación realizada por (Flores Nolasco, 2000) con el tema “Minimización de los residuos de esmalte en una planta de productos cerámicos, a través del reciclado del agua residual” de la Universidad de Tegucigalpa, propone: “En la industria cerámica se genera agua residual, como consecuencia de las operaciones de limpieza en las

secciones de molienda, preparación de esmaltes y aplicación de esmaltes. En estos procesos, para una correcta gestión de las aguas residuales debe realizarse un planteamiento basado en reducir al máximo las necesidades de agua de limpieza y en aprovechar todas las posibilidades de reciclado interno de agua, con o sin depuración previa, para efectuar finalmente solo el vertido del agua que no pueda reutilizarse, minimizando de este modo el impacto ambiental”

Aportando con la conclusión más relevante, al realizar los ensayos del comportamiento del material, como en los balances hídricos del proceso se puede llevar a cabo el reciclado completo del agua residual en el propio proceso productivo cumpliendo el objetivo de la caracterización de los residuos de esmalte en las aguas residuales.

- d. Y por último, en el artículo científico realizado por (NESI & BERNARDIN, 2007) con el tema: “Baldosas cerámicas de muy baja densidad desarrolladas mediante el reciclado de residuos de esmaltes” menciona que en las industrias cerámicas la reutilización y el reciclado de residuos es muy efectiva, ya que reduce la generación de residuos, así como el consumo excesivo de recursos naturales.

La conclusión que aportó este estudio fue que al reutilizar los residuos de esmaltes en la producción de baldosas cerámicas de muy baja densidad la calidad de las baldosas está dentro de las normas de calidad establecidas siendo las más importantes la absorción de agua y el módulo de rotura por flexión.

En resumen, estas investigaciones se basan en el tratamiento de los efluentes, así como subproductos y residuos en un nuevo ciclo de producción y consumo. El reciclado de estos residuos presenta un valor económico y es una de las formas más atractivas para resolver problemas relacionados con el tratamiento y destino final de los residuos.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Agua residual

Según BOE Legislación Consolidada (Consolidada, 1995) menciona que las “Aguas residuales industriales son todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial”

El manejo y buena gestión de las aguas residuales se encuentran enmarcadas en las leyes y normativas ambientales que pertenecen al estado como el Ministerio de Ambiente y a la parte

local como municipalidades o gobiernos autónomos descentralizados.

2.2.2. Cerámica

El término "cerámica" proviene de la palabra griega "Kerameicos", que significa "de barro". Los productos cerámicos son artículos hechos por el "hombre", que han sido primero moldeados o modelados usando un amplio número de minerales y rocas, y luego permanentemente endurecidos por el calor (Materias primas para la industria cerámica, 2006). Esta definición clásica de producto cerámico se puede simplificar como: "objeto moldeado con materias primas naturales plásticas y endurecido permanentemente por el calor". Pero también se puede generalizar como "el producto final de un proceso industrial (proceso cerámico) en el que se transforman y endurecen los materiales de partida (materias primas)". (Obtención de esmaltes de aspecto metálico en baldosas fabricadas por monococción, 2006)

2.2.3. Proceso cerámico

El proceso cerámico abarca desde la recepción de materias primas, molienda, atomizado, prensado, secado, esmaltado, cocción, clasificación final, embalaje y bodegaje (Cerámicos, 2004)

El proceso cerámico comienza con la selección de las materias primas que deben formar parte de la composición de la pasta, que son fundamentalmente arcillas, feldespatos, arenas, carbonatos y caolines. En la industria cerámica las materias primas se suelen utilizar, por lo general, tal y como se extraen de la mina o cantera, o después de someterlas a un mínimo tratamiento. (Morales Güeto, 2005)

Las materias primas son trasladadas por medio de palas mecánicas (payloader) desde su lugar de almacenamiento hasta la báscula para controlar la calidad exacta de cada una de ellas de acuerdo a la formulación pre-establecida, que entraran en la molienda por medio de bandas transportadoras para obtener posteriormente la barbotina o pasta líquida (Fábricas de cerámica artesanal que utilizan la combustión de madera: un estudio de nanopartículas y salud humana, 2021)

Como resultado de todo ello se obtiene el producto cerámico, que deberá pasar controles de calidad. Todas las etapas son importantes, pero es sin duda la cocción la más crítica e interesante, tanto desde un punto de vista básico, por cuanto supone un conjunto de reacciones del mayor interés científico, como aplicado porque en esta etapa se consigue realmente el producto cerámico final. (Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas, 2010)

El proceso de cocción se realiza a temperaturas superiores a los 900°C, cuando la mayoría de los minerales comunes que entran a formar parte de la pasta son inestables. A estas temperaturas unos

minerales se transforman en polimorfos de alta y otros funden parcial o totalmente y se producen reacciones entre los distintos fundidos o reaccionan con los más resistentes, y se neoforman fases estables ante las nuevas condiciones termodinámicas (Estudio arqueométrico de un conjunto materiales cerámicos de la antigua fábrica loza de Sargadelos (Lugo), 2018)

Con el enfriamiento, más o menos rápido, se produce en general una congelación del equilibrio alcanzado a alta temperatura y coexisten antiguos minerales, que soportan la elevación de la temperatura, junto con otros neoformados (ahora metaestables) y fases vítreas que no llegan a cristalizar. Este proceso de sinterización es el que proporciona realmente el producto cerámico duro y resistente. (Materias primas para la industria cerámica, 2006)

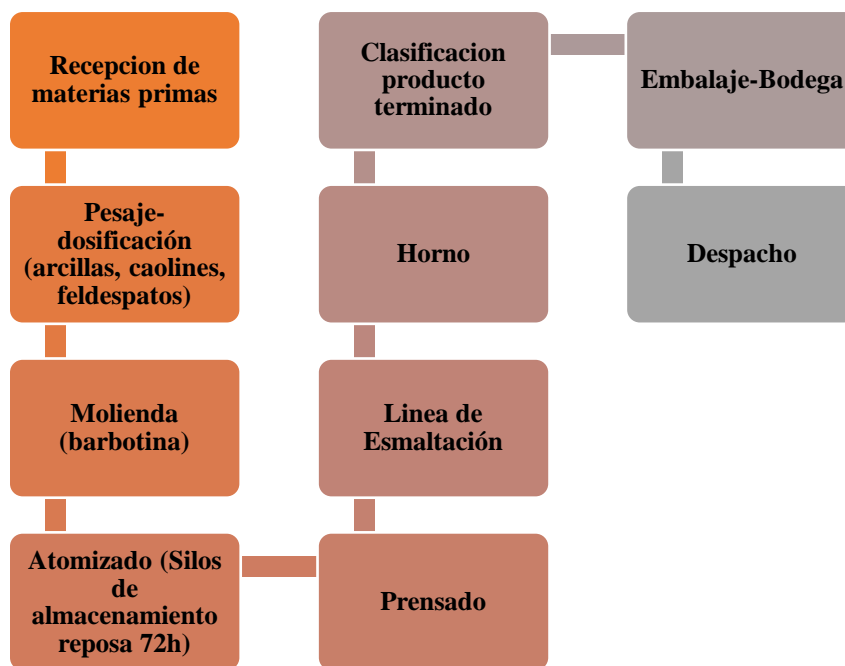


Gráfico 1-2. Proceso de fabricación de cerámicas.

Fuente: (Cabrera, Montfins, Foó, & Balfagón , 2006)

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

2.2.4. Esmaltado y decorado

La pieza seca que sale caliente del secadero, está lista para ingresar al área de esmaltado, por medio de bandas transportadoras colocadas de forma horizontal. El esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas de vidriado (engobe y esmalte) con un peso comprendido entre 0,636 – 1,00 kg/m², que cubre la superficie de la pieza, además dependiendo del producto que se vaya a elaborar se le adiciona el diseño con tintas serigráficas por medio de pantallas (Digital decoration for ceramic tiles: The effect of glazes particle size distribution on the inkjet decoration, 2019)

2.2.5. Preparación de los esmaltes.

Los esmaltes se pueden utilizar en diferentes estados físicos: suspensiones acuosas, suspensiones no acuosas, granulados (granilla, sinterizados o peletizados) y polvos. Generalmente se suelen delegar las técnicas de preparación de los esmaltes en el estado sólido, granulados y polvos, a los fabricantes de colores de cerámicas (Prácticas sostenibles de la industria de la cerámica roja y su influencia en las comunidades locales, 2020). Las empresas cerámicas normalmente se ocupan sobre todo de la preparación de esmaltes compuestos por medio de molienda y homogenización para adecuarlos a la siguiente, delicada fase de aplicación (Cerámicos, 2004)

2.2.6. El agua en el proceso de fabricación de baldosas

En todas las etapas del proceso de fabricación de baldosas cerámicas el agua juega un papel muy importante, realizando funciones específicamente tecnológicas, en las que actúa como materia prima, o en funciones auxiliares. Se ha realizado un análisis del proceso de fabricación determinando cuales son las etapas donde es necesaria la utilización del agua, que características debe tener y cuáles son las etapas de las que resulta agua residual. El caudal y las características del vertido pueden sufrir variaciones muy importantes con el tiempo, debido a que la mayor parte del vertido proviene de las operaciones de lavado de las líneas de esmaltado. (ENRIQUE, MONFORT, BUSANI, & MALLOL, 2000)

2.3. Bases teóricas. Diseño experimental propuesto de la planta de tratamiento.

Los sistemas de tratamiento industrial, son creados bajo las especificaciones y necesidades de cada empresa, en este estudio se realizará una planta de Tratamiento para las aguas provenientes del área de esmaltado, para su reincorporación al proceso y la recuperación de sólidos de esmalte.

2.3.1. Caudal de diseño

El caudal de diseño, es la estimación máxima de caudal en función del periodo de funcionamiento, periodos críticos de producción, mediante este se diseñarán las diferentes unidades del sistema de tratamiento, equipos, dispositivos.

$$Q = \frac{V_1}{t} \quad Ec.1$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

V_l = Volumen del agua utilizado para la limpieza de molinos (m³)

t = Tiempo (s)

Se determinará de manera experimental mediante la utilización de un caudalímetro, en diferentes días del mes, se estimará el promedio de este más el aumento en la producción para un periodo de 5 años, que se estima en un 33,25% por lo que adoptaremos un incremento del caudal en un 40%.

2.3.2. Volumen de diseño

Para la obtención del Volumen del Efluente se registró los datos de los dos medidores de agua existentes, durante un mes, para así tener una estadística de la cantidad de agua que se consume. También se cuenta con los datos de las cargas de esmaltes que se producen diariamente, la diferencia del agua que consume según los medidores menos los valores de las cargas diarias será el agua que se utiliza en la limpieza.

Tabla 1-2. Cantidad de agua utilizada en la limpieza de molinos al día.

FECHA	CONSUMO DE AGUA MEDIDORES (m ³)	CONSUMO DE AGUA PRODUCCION DE ESMALTES (m ³)	AGUA UTILIZADA EN LIMPIEZA DE MOLINOS (m ³)
15-nov-21	10,4	4,0	6,4
16-nov-21	10,4	4,5	5,9
17-nov-21	13,1	6,7	6,3
18-nov-21	9,4	2,7	6,7
19-nov-21	5,8	1,7	4,1
20-nov-21	8,6	2,3	6,3
21-nov-21	3,9	0,5	3,4
22-nov-21	10,4	3,9	6,5
23-nov-21	15,6	14,2	1,4
24-nov-21	8,2	2,6	5,6
25-nov-21	10,5	4,4	6,1
26-nov-21	8,4	3,3	5,2
27-nov-21	8,0	3,5	4,5
28-nov-21	0,0	0,0	0,0
29-nov-21	8,2	4,1	4,1
30-nov-21	6,8	1,26	5,5
01-dic-21	20,4	13,2	7,2
02-dic-21	9,8	3,2	6,6
03-dic-21	12,0	5,8	6,2
04-dic-21	7,0	2,1	4,9

05-dic-21	7,0	1,2	5,8
06-dic-21	9,0	2,8	6,2
07-dic-21	9,1	3,4	5,7
08-dic-21	7,9	2,47	5,4
09-dic-21	9,2	2,3	6,9
10-dic-21	9,0	3,4	5,7
11-dic-21	7,0	2,5	4,5
12-dic-21	4,5	0,3	4,2
13-dic-21	7,1	2,7	4,5
14-dic-21	9,5	3,3	6,2
15-dic-21	15,8	8,7	7,1
TOTAL	282,1	117,1	
AGUA UTILIZADA EN LA LIMPIEZA (m³)			164,9 al mes

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Según los datos obtenidos, se tiene un Volumen de Efluente de **164,9 m³/mes** que son utilizados en la limpieza de los molinos y del área, en la actualidad toda esta agua es eliminada al sistema de alcantarillado.

Se puede observar en la Tabla 1. “Cantidad de agua utilizada en la limpieza de molinos al día” que el día de mayor producción de esmaltes fue el 01 de diciembre del 2021, generando **7,2 m³**.

2.3.3. Cribado o desbaste

Es una rejilla con aberturas, eficaz en la retención de sólidos gruesos, medianos que pueden afectar a las instalaciones y estructuras del Sistema de Tratamiento, es muy recomendable colocarlo aguas arriba de un sistema de bombeo. Los elementos más utilizados para su construcción son barras, alambres, varillas paralelas, telas metálicas, la forma de sus aperturas son variables, aunque la más común son las rectangulares. Las rejillas son las más recomendables para protección de equipo de bombeos, válvulas, tuberías, debido a obstrucciones por telas, plásticos, además de su bajo costo y su operación manual, se pueden clasificar en rejas gruesas, medias o finas. (Metcalf & Eddy, 1995)



Figura 1-2. Zona de cribado - PTAR Manilla

Fuente: Udearoba, 2017

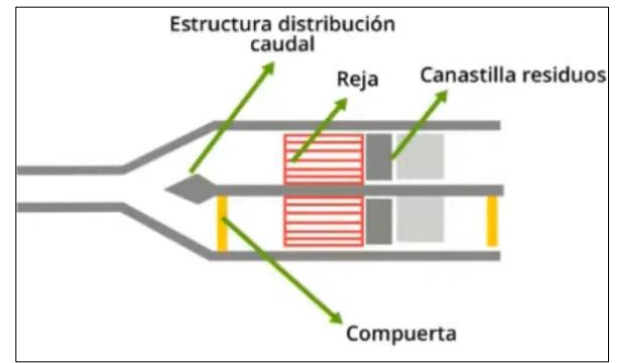


Figura 2-2. Vista del área de cribado

Fuente: Udearoba, 2017

Definimos los factores de diseño de rejillas gruesas y medias de barras con limpieza manual, citados en el CPE INEN 5. (INEN, 2003)

Tabla 2-2. Factores de diseño de cribas

FACTORES DE DISEÑO		
Factor de diseño	MEDIDA	UNIDADES
Espaciamento(b)	25 - 50	mm
Espesor (wb)	5 - 15	mm
Profundidad de las barras	0,3 – 0,75	mm
Velocidad máxima de aproximación (QMH)	1,2	m/s
Velocidad mínima de aproximación	0,3 – 0,6	m/s
velocidad en la reja	0,6 – 0,9	m/s
Velocidad a través de las barras limpias	0,4 – 0,75	m/s
Ángulo de inclinación de las barras	44 - 60	°

Fuente: CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CPE INEN 5. Apartado 5.3.3.4, 2003)

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

2.3.3.1. Eficiencia de la rejilla

Es la relación entre el área libre y el área total, lo determinamos mediante la siguiente ecuación, cuanto mayor sea el área entre barrotes, más eficiente va a ser la rejilla. (Materon, 1997)

$$E = \frac{b}{b+wb} \quad Ec.2$$

Dónde:

E = Eficiencia

b = Espaciamento entre barras (mm)

wb = Espesor de la barra (mm)

2.3.3.2. Separaciones entre barras

La suma de la separación entre barrotes, está en función del espesor y el espaciamiento entre las barras, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{b_g} = \left(\frac{\mathbf{B-b}}{\mathbf{b+wb}} + \mathbf{1} \right) \times \mathbf{b} \quad \text{Ec.3}$$

Dónde:

$\mathbf{b_g}$ = Suma de separación entre barrotes (m)

\mathbf{B} = Ancho del canal (m)

\mathbf{b} = Espaciamiento entre barras (m)

\mathbf{wb} = Espesor de la barra (m)

2.3.3.3. Área entre espacios.

El área entre espacios de la rejilla, se determina en función del ángulo de inclinación de la rejilla, la altura del flujo de entrada, mediante la ecuación:

$$\mathbf{A_e} = \frac{\mathbf{y_2}}{\mathbf{sen \alpha}} \times \mathbf{b_g} \quad \text{Ec.4}$$

Dónde:

$\mathbf{A_e}$ = Área entre espacios (m²)

$\mathbf{b_g}$ = Suma de separación entre barrotes (m)

$\mathbf{y_2}$ = Tirante a la entrada de la zona de cribado (m)

2.3.3.4. Velocidad del agua entre los espacios de la rejilla.

La velocidad del agua ente la rejilla, se determina en función del caudal y el área entre espacios, mediante la ecuación:

$$\mathbf{v_e} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{A_e}} \quad \text{Ec.5}$$

Dónde:

$\mathbf{v_e}$ = Velocidad del agua entre espacios (m/s)

$\mathbf{A_e}$ = Área entre espacios (m²)

\mathbf{Q} = Caudal (m³/s)

2.3.3.5. Número de barras.

El número de barras, se determina en función de la suma de los espacios entre barras en relación al espaciamiento entre barras.

$$N = \frac{b_g}{b} \quad Ec.6$$

Dónde:

N = Número de barras

b_g = Suma de espacios entre barras (m)

b = Espacio entre barras (m)

2.3.3.6. Pérdidas de carga en rejillas parcialmente sucias.

Las determinaremos a través de la ecuación de Metcall y Eddy, donde establece que las pérdidas de carga, van a ser directamente proporcional a la diferencia de las velocidades aguas arriba y a través de las barras.

$$h_L = 1,43 \times \left(\frac{v^2 - v'^2}{2g} \right) \quad Ec.7$$

Dónde:

h_L = Pérdida de carga (m)

V = Velocidad a través de las barras (m/s)

v = Velocidad aguas arriba de la rejilla (m/s), $v' = V \times E$

E = Eficiencia

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

La velocidad a través de la barra aumenta a medida se vaya llenando la rejilla de sólidos, esta ecuación se utiliza generalmente cuando hay un ensuciamiento del 50%, es decir solo tenemos disponible la mitad del área útil y se establece el doble de velocidad.

2.3.3.7. Ajuste del ancho de la rejilla.

Se debe realizar un ajuste al ancho de la rejilla, debido que, al determinar el número de barrotes, se debe considerar un número entero, mediante la ecuación:

$$b_f = (n \times wb) + (n - 1) \times b \quad Ec.8$$

Dónde:

b_f = Ajuste del ancho de la rejilla (m)

n = Número de barrotes

wb = Espesor de la barra (mm)

b = Espacio entre barras (m)

2.3.3.8. Longitud total del canal.

La longitud total del canal, se determina en función de la longitud a la entrada y la longitud a la salida de la rejilla. Se establecen factores de diseño para la entrada un factor de 2 y a la salida un factor de 0.8, mediante la ecuación:

$$L_t = L_e + L_s$$

$$L_t = (L_e) + (0,8 \times L_e)$$

$$L_t = (2 \times b_f) + (0,8 \times (2 \times b_f)) \quad Ec.9$$

Dónde:

L_t = Longitud total (m)

b_f = Ajuste del ancho de la rejilla (m)

2.3.4. Tanque de recepción de agua residual

2.3.4.1. Volumen del tanque de recepción de agua residual

El volumen del tanque de recepción del agua residual lo determinamos en función de la Tabla 1. “Cantidad de agua utilizada en la limpieza de molinos al día”, donde se determina que el mayor requerimiento de agua para efectuar la limpieza de los molinos y del área de esmaltado el valor es de 7,2 m³, por motivos de diseño se debe establecer un factor de seguridad entre 1 y 1,5, por

eventualidades de aumento en la producción o mayor uso del agua para las actividades de limpieza.

$$V_t = V_{\max} \times f_s \quad Ec.10$$

Donde:

V_t = Volumen del tanque del agua a tratar (m^3)

V_{\max} = Volumen máximo diario (m^3)

f_s = Factor de seguridad (%)

2.3.4.2. Área del tanque de recepción de agua residual.

El área del tanque de recepción del agua residual, se determina mediante el volumen y la altura de este, mediante la siguiente ecuación:

$$A_t = \frac{V_t}{H_t} \quad Ec.11$$

Dónde:

A_t = Área del tanque (m^2)

V_t = Volumen del tanque de almacenamiento (m^3)

H_t = Altura del tanque de almacenamiento (m)

2.3.4.3. Longitud del tanque de recepción de agua residual.

La longitud del tanque de recepción del agua residual, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A_t}{B} \quad Ec.12$$

Dónde:

L = Longitud del tanque de almacenamiento, (m)

A_t = Área del tanque de almacenamiento (m^2)

B = Ancho del tanque de almacenamiento (m)

2.3.4.4. *Inclinación del fondo del tanque de recepción de agua residual.*

El tanque de recepción del agua residual contara con una inclinación en el fondo, debido a la alta presencia de solidos suspendidos, esto ayudara a la recolección de los fangos por gravedad, se estima que el fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.

2.3.5. *Floculador mecánico (agitador de paleta)*

Es un equipo que permite, la aglomeración de las partículas coaguladas en flóculos, mediante una agitación lenta, aplicando velocidades decrecientes, permitiendo la desestabilización de los coloides, incrementando los encuentros o colisiones entre partículas, sin romperse o disturbarse.

La mezcla lenta de floculación, se puede realizar mecánicamente, se introduce potencia al agua mediante agitadores mecánicos (paletas o rotores), siendo el más común las paletas sean de eje horizontal o vertical (Romero, 1999)

2.3.5.1. *Criterios para diseño de floculadores mecánicos.*

La agitación del agua, ya sea hidráulicamente o mecánicamente, produce gradientes de velocidad, está es la encargada de controlar el grado de floculación. Existen diversos autores que establecen los rangos de las variables, en el presente estudio se citaran según Metcalf y Eddy:

Tabla 3-2. Factores de diseño de floculadores mecánicos.

FACTORES DE DISEÑO		
Factor de diseño	MEDIDA	UNIDADES
Gradiente de velocidad (G)	20-75	s ⁻¹
Tiempo de retención (t)	15-30	min
Número adimensional de Camp (G_t)	10000-100000	
Velocidad de paletas	0,5-0,9	m/s

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

2.3.5.2. Volumen del floculador

El volumen del floculador lo determinamos mediante el caudal diario y el tiempo de retención (Romero, 1999)

Mediante la siguiente ecuación:

$$V = Q \times t \quad Ec.13$$

Dónde:

V = Volumen del floculador (m³)

Q = Caudal diario (m³/d)

t = Tiempo de retención (d)

2.3.5.3. Potencia disipada de la mezcla

La potencia disipada de la mezcla se determina mediante el Gradiente de velocidad, el volumen y la viscosidad cinemática del líquido a una temperatura determinada. (Romero, 1999)

$$P = G^2 \times V \times \mu \quad Ec.14$$

Dónde:

P = Potencia (W)

G = Gradiente de velocidad (s⁻¹)

V = Volumen (m³/d)

μ = Viscosidad cinemática (Pa*s)

2.3.5.4. Área del floculador

Se adaptará una altura útil de 1,5 m, el área de la cámara del floculador será:

$$A = \frac{V}{H} \quad Ec.15$$

Dónde:

A = Área del floculador (m²)

V = Volumen (m³/d)

H = Altura útil (m)

2.3.5.5. Velocidad diferencial

La velocidad diferencial entre el agua y las paletas, se determina mediante el coeficiente de arrastre, según Rouse está se obtiene mediante la relación de la longitud de la paleta y el ancho de la paleta. (Romero, 1999)

Tabla 4-2. Coeficiente de arrastre

C_D	Longitud de la paleta / ancho de la paleta
1,16	1
1,20	5
1,50	20
1,90	∞

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Determinamos la velocidad diferencial, mediante la siguiente ecuación:

$$v = \left(\frac{2P}{C_D \times \rho \times A} \right)^{1/3} \quad Ec.16$$

Dónde:

P =Potencia (W)

C_D = Coeficiente de arrastre

A = Área de las paletas (m)

ρ = Densidad (kg/m³)

2.3.5.6. Velocidad de las paletas

La velocidad de las paletas se determina mediante la siguiente ecuación:

$$v_p = \frac{v}{0,75} \quad Ec.17$$

Dónde:

v_p =Velocidad de las paletas (m/s)

v = Velocidad diferencial (m/s)

2.3.5.7. Velocidad de rotación de las paletas.

La velocidad de rotación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{v_p}{2\pi \times R} \quad Ec.18$$

Dónde:

N = Velocidad de rotación (RPM)

v_p = Velocidad de las paletas (m/s)

R = Radio de medio giro (m)

2.3.5.8. Número adimensional de camp

El número adimensional de Camp, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$G_t = G \times t_r \quad Ec.19$$

Dónde:

G_t = Número adimensional de Camp

G = Gradiente de velocidad (s^{-1})

t_r = Tiempo de retención (s)

2.3.6. Lecho de secado de fangos.

Los sistemas de sedimentación y floculación, generan lodos, el método de deshidratación de lodos, más simple y económico es mediante los lechos de secado. (UNATSABAR, 2005)

El principio de estos lechos consiste en extender el lodo en unas cámaras donde se dejarán secar, hasta alcanzar la concentración deseada de estos, (Metcall & Eddy.1995) En este caso los fangos estarán constituidos por los sólidos de esmaltes, feldespatos los mismos que serán reincorporados al proceso de Esmaltación.

2.3.6.1. Volumen de fangos producidos

El volumen diario de fangos producidos tanto en el tanque del agua a tratar como en el floculador, se determinan en función del **% de humedad de los fangos**, el **% total de sólidos presentes en el fango**, esto lo hemos determinado de manera experimental, se determina mediante la ecuación:

$$\mathbf{Vfd = V_d \times \% H \times \% SS} \quad \text{Ec.20}$$

Dónde:

Vfd = Volumen diario de fangos digeridos, (m³/día)

V_d = Volumen diario, (m³)

% H = Porcentaje de humedad del fango, (%)

% SS = Porcentaje de los sólidos totales en el fango, (%)

2.3.6.2. Volumen del lecho de secado

El volumen del tanque donde se recolectarán los fangos, está en función del volumen de fangos producidos y el tiempo de digestión, la determinamos mediante la ecuación:

$$\mathbf{Vef = \frac{Vfd \times Td}{1000}} \quad \text{Ec.21}$$

Dónde:

Vef = Volumen de fangos a extraer del tanque, (m³)

Vfd = Volumen diario de fangos digeridos, (L/día)

Td = Tiempo de digestión, (día)

2.3.6.3. Área del lecho de secado

El área de lecho de secado de fangos, se determina en función del volumen del tanque y la profundidad del lecho, se recomienda que la profundidad se encuentre entre 0.2 -0.4 m, mediante la ecuación:

$$\mathbf{Als = \frac{Vef}{Ha}} \quad \text{Ec.22}$$

Dónde:

Als = Área superficial del lecho (m²)

Vef = Volumen de fangos a extraer del tanque (m³)

Ha = Profundidad de aplicación (m)

2.3.6.4. Longitud del lecho de secado

La longitud del lecho de secado de fangos, se determina en función del área del lecho y el ancho del lecho, mediante la ecuación:

$$L = \frac{Als}{B} \quad Ec.23$$

Dónde:

L = Longitud del lecho (m)

Als = Área superficial del lecho (m²)

B = Ancho del lecho (m)

2.3.7. Tanque de almacenamiento del agua tratada

2.3.7.1. Volumen del tanque de almacenamiento del agua tratada

El volumen del tanque de almacenamiento del agua tratada se determina en función del caudal, el tiempo de retención y el factor de seguridad, mediante la siguiente ecuación:

$$V_t = Q \times t_c \times f_s \quad Ec.24$$

Dónde:

V_t = Volumen del tanque de almacenamiento (m³)

Q = caudal (m³/s)

t_c = Tiempo de concentración (s)

f_s = Factor de seguridad (%)

2.3.7.2. Altura del tanque de almacenamiento del agua tratada

La altura del tanque de almacenamiento del agua tratada se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H_t = \frac{V_t}{A_t} \quad Ec.25$$

Dónde:

H_t = Altura del tanque de almacenamiento (m)

V_t = Volumen del tanque de almacenamiento (m^3)

A_t = Área del tanque (m^2)

2.3.7.3. Longitud del tanque de almacenamiento del agua tratada

La longitud del tanque de almacenamiento del agua tratada, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A_t}{B} \quad Ec.26$$

Dónde:

L = Longitud del tanque de almacenamiento, (m)

A_t = Área del tanque de almacenamiento (m^2)

B = Ancho del tanque de almacenamiento (m)

2.4. Marco Conceptual

2.4.1. Agua residual industrial. Agua residual en la cual predominan vertidos industriales (Metcalf & Eddy, 1995)

2.4.2. Alúmina de alta densidad. Son bolas de Oxido de Aluminio, utilizadas en molinos agitados de alta intensidad para molienda fina y ultrafina, las perlas de molienda de cerámica son ideales como alternativa rentable para los molinos de alta intensidad (Cerámicos, 2004).

2.4.3. Arcillas. Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados (Cabrera, Montíns, Foó, & Balfagón, 2006).

2.4.4. Caolines. El caolín o caolinita es una arcilla blanca, blanda y plástica, compuesta principalmente por partículas laminares de grano fino. Su nombre proviene del primer yacimiento descubierto en China, la colina de Kaoling. Se forma cuando los silicatos de aluminio anhidros que se encuentran en las rocas feldespáticas, como el granito, se alteran por la intemperie o por

procesos hidrotermales. Forma parte del grupo de minerales industriales, con la composición química $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Asociación nacional de fabricantes de fritas, 2021).

2.4.5. Cuerpos molidores. Las bolas para molienda se emplean en la minería, la industria del carbón, la construcción (por ejemplo, para hacer cemento) y otras industrias: en los molinos de bolas como cuerpos de molienda para moler materiales por impacto, abrasión y aplastamiento (Morales Güeto, 2005)

2.4.6. Efluente. Líquido que sale de un proceso de tratamiento (Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, 2015).

2.4.7. Fritas. Una frita cerámica es una mezcla de sustancias químicas inorgánicas obtenida por enfriamiento rápido de un fundido, que es una combinación compleja de materiales, convirtiendo las sustancias químicas así elaboradas en compuestos vítreos insolubles que se presentan en forma de escamas o gránulos (Asociación nacional de fabricantes de fritas, 2021).

2.4.8. Molinos Alsing. Es una herramienta o máquina donde se realiza la molienda, usando unos cuerpos trituradores que se introducen, bolas de alúmina o cantos rodados de cuarzo, para reducir la materia al tamaño deseado, adecuando las características necesarias a los esmaltes y pastas, así como, homogeneizando las mezclas (Cerámicos, 2004).

2.4.9. Pigmentos. Los pigmentos usados en cerámica son mezclas calcinadas de los óxidos colorantes (hierro, cobre, cromo, manganeso, cobalto, níquel, etc), acompañados a veces con elementos que actúan como modificadores del color (óxidos de cinc, calcio, estaño, titanio, etc.) (Alberro, 2015)

2.4.10. Sedimentación. La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales (Rodríguez González, Molina, Jácome , & Suáres, 2015).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. Metodología

3.1.1. Tipo y diseño de la investigación.

El diseño de investigación para el presente estudio es **experimental** en base a los resultados de la caracterización de las muestras, referencias bibliográficas referente a tratamiento de aguas residuales, y los resultados de las pruebas de tratabilidad, se establecerá el tratamiento óptimo para dejar al agua residual en condiciones similares a al agua cruda el pozo, por lo tanto, es un diseño **transversal** ya que las pruebas se las van a realizar durante un solo periodo de tiempo.

3.1.2. Método de investigación

La presente investigación cumple los métodos **Inductivo** ya que parte de lo particular hasta obtener las variables dependientes (Peso de sólidos recuperados, turbiedad y caudal) a partir de la variable independiente (Volumen del efluente), también cumple el método **Sintético**, ya que integra a la variable independiente en su totalidad.

3.1.3. Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación para el presente diseño es de tipo **cuantitativo** ya que vamos a obtener valores numéricos para las variables que se va analizar y también los cálculos para el diseño del sistema de tratamiento, tanto para las variables dependientes como independientes.

3.1.4. Identificación de variables.

3.1.4.1. Variable dependiente

- a. Peso de sólidos recuperados.
- b. Turbiedad
- c. Caudal

3.1.4.2. Variable independiente

- a. Volumen de efluente

3.1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1-3. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS	INSTRUMENTO
Volumen del efluente	Cantidad de agua que se desperdicia en cada lavada de molinos	Volumen	Volumen generado	m ³	Medidores de agua
Peso de sólidos recuperado	Sólidos que se encuentran disueltos en el agua de limpieza	Kilogramos de sólidos	Cálculo de rendimiento	kg	Porcentaje de residuos
Turbiedad	Propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida, de 'diseminar' en todas direcciones la luz que pasa por ella.	Unidad de Turbidez Nefelométrica	Luz incidente y la sustancia diseminante.	NTU	Turbidímetros - Hach LATAM
Caudal del efluente	Cantidad de agua proveniente de la limpieza que se descarga a la alcantarilla	Volumen del agua	Cantidad de agua que se descarga	m ³ /s	Caudalímetro

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

3.1.6. Matriz de consistencia

Tabla 2-3. Matriz de consistencia

Formulación del problema		Objetivo General			Hipótesis General	
¿El Diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado permitirá la reutilización de las mismas en el proceso de producción de esmaltes de la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica?		Diseñar un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado de la planta de Pisos de la empresa Ecuacerámica para su reutilización en el proceso.			El diseño de un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado de la planta de Pisos de la empresa Ecuacerámica permitirá recuperar el agua y los sólidos disueltos para ser incorporados nuevamente en el proceso.	
Preguntas directrices	Objetivos Específicos	Hipótesis específicas	Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
a. ¿Cuál es la disposición final en la actualidad de los efluentes en el área de esmaltado?	a. Diagnosticar el manejo de efluentes del área de esmaltado en la actualidad.	a. Al realizar el diagnóstico del manejo de efluentes del área de esmaltado se evidenciará la problemática actual.	Volumen del efluente	Volumen generado	Directa	Medidores de agua
b. ¿Existe algún parámetro fuera de norma en la disposición final de los efluentes en el área de esmaltado?	b. Caracterizar las aguas provenientes de la limpieza del área de esmaltado de la planta de pisos en la empresa Ecuacerámica	b. La Caracterización de las aguas provenientes de la limpieza del área de esmaltado de la planta de pisos en la empresa Ecuacerámica nos mostrarán los parámetros que se hallan fuera de norma.	Peso de sólidos recuperado	Cálculo de rendimiento	Cálculo de rendimiento	Porcentaje de residuos

c. ¿Cuál es el tratamiento óptimo para tratar las aguas provenientes de la limpieza de los molinos del área de esmaltado?	c. Realizar pruebas de tratabilidad a las aguas provenientes de la limpieza.	c. Al realizar pruebas de tratabilidad a las aguas provenientes de la limpieza se encontrará el tratamiento óptimo al que se someterá a las mismas.	Turbiedad	Luz incidente y la sustancia diseminante.	Electrónica	Turbidímetros - Hach LATAM
d. ¿El agua tratada podrá ser reutilizada en la preparación de un nuevo esmalte?	d. Diseñar el sistema de tratamiento más adecuado para la recuperación del agua y sólidos de esmalte.	d. Al Diseñar el sistema de tratamiento más adecuado para la recuperación del agua y sólidos de esmalte, se garantiza que se puede reutilizar el agua y los sólidos de esmalte en el proceso.	Caudal del efluente	Cantidad de agua que se descarga	Electrónica	Caudalímetro
e. ¿Qué características presentará un esmalte producido con el agua tratada?	e. Validar el diseño propuesto usando el agua recuperada en la preparación de un esmalte.	e. Al validar el diseño propuesto usando el agua recuperada en la preparación de un esmalte se comprueba que el agua ha sido tratada adecuadamente.				

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

3.2 Diseño de la investigación



Gráfico 1-3. Diagrama del proceso de investigación

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

El presente trabajo de investigación es de tipo **cuasi-experimental**, en base a los análisis de laboratorio, referencias bibliográficas referente a tratamiento de aguas residuales, mediante las pruebas de tratabilidad se establecerá el mejor tratamiento para las aguas provenientes de la limpieza del área.

3.3. Población de estudio

La población de estudio de la investigación es el área de Esmaltes de la planta de Pisos de la empresa Ecuacerámica de la ciudad de Riobamba.

3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis es el agua proveniente de los 9 molinos de Bolas del área de preparación de esmaltes de la Empresa Ecuacerámica.

3.5. Selección de la muestra.

Para la selección de la muestra se tomará dos muestras de agua:

M1: Agua cruda para la producción proveniente del pozo.

M2: Agua residual producto de la limpieza del área.

Las cuales se procedió de la siguiente manera:

a. Determinación del sitio de muestreo: Para la muestra M1 se tomó desde el pozo donde se extrae el agua para la producción. La muestra M2 es una muestra compuesta formada por el agua de la descarga de la limpieza de los molinos, canaleta de desagüe y el tubo de drenaje.

b. Tipo de muestra: La muestra M1 se tomó una muestra puntual de la cisterna donde se almacena el agua del pozo. Para la muestra M2 se procedió a tomar una muestra compuesta que fue tomada previa la descarga de los molinos en las condiciones más desfavorables, es decir en los días donde hubo mayor producción.

3.6. Tamaño de la muestra

Para el presente diseño del sistema de tratamiento de agua, no se va a utilizar ningún método de muestreo específico ya que se va a utilizar la investigación al 100%.

3.7. Técnica de recolección de datos

La presente investigación se emplearán técnicas de recolección de datos como: Análisis de contenido cuantitativo con el objetivo de identificar la opción más acertada para el tratamiento del agua residual, así como también la toma de las muestras del agua residual que será una muestra compuesta. Para Los análisis físicos-químicos al agua a tratarse se adaptaron al manual “STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER” (Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales) y el manual de procesos HACH. Por otro lado, los valores obtenidos en las distintas pruebas, se registrarán en hojas de Excel para su posterior interpretación y análisis.

3.8. Tratamiento y diseño experimental

Una vez terminada la caracterización del *Agua cruda para uso en el proceso*, así como el *Agua residual después del proceso* se realizará una comparación de los metales que están en concentraciones elevadas para establecer un Sistema de Tratamiento, una vez establecido el sistema de tratamiento se validará en el proceso.

3.8.1. Elaboración de las propuestas

Desde el punto de vista químico el agua utilizada se caracteriza por la presencia de: sólidos en suspensión arcillas, restos de fritas, silicatos insolubles en general, aniones en solución: sulfatos, cloruros, fluoruros, etc., metales pesados en solución y/o suspensión, y trazas de materia orgánica vehículos serigráficos, colas y demás compuestos orgánicos utilizadas en las operaciones de esmaltado, esto se debe a las materias primas para la elaboración de los esmaltes.

Tabla 3-3. Análisis químico de aguas residuales en preparación de esmaltes sin depurar.

Substancia	Intervalos de variación
pH	7-9
Sólidos suspendidos (mg/l)	1000-20000
Sólidos sedimentables (mg/l)	5-30
Cloruros (mg/l)	100-700
Sulfatos (mg/l)	100-500
Fluoruros (mg/l)	<2
COD (mg/l)	150-1000
BOD5 (mg/l)	50-400
Calcio (mg/l)	5-500
Magnesio (mg/l)	10-100
Aluminio (mg/l)	<2
Hierro (mg/l)	<0,5
Zinc (mg/l)	<2
Plomo (mg/l)	<5

Fuente: (ENRIQUE, MONFORT, BUSANI, & MALLOL, 2000)

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

3.8.2. Análisis de las propuestas

3.8.2.1. Diagnóstico

Actualmente en la empresa Ecuacerámica de la ciudad de Riobamba en el área de preparación de esmaltes, no se cuenta con un sistema de tratamiento para los efluentes ya que estos son eliminados directamente al sistema de alcantarillado produciendo un consumo excesivo de agua y también contaminación al medio ambiente. Existe una cisterna donde se deposita el agua de efluentes para la recuperación de sólidos de esmaltes, pero está en desuso ya que está saturada, únicamente realizan la limpieza de la misma de forma manual cuando los efluentes empiezan a rebosar por las canaletas.

Tabla 4-3. Molinos ALSING del área de preparación de esmaltes

MOLINO N°	PRODUCTOS	CAPACIDAD
0	Tripolifosfato de Sodio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)	60 kg de sólidos + Agua
1 y 2	Pruebas y caramuros	3000 kg de sólidos + Agua
3 y 4	Engobes y Esmaltes	1000 kg de sólidos + Agua
5	Esmaltes	800-3200 kg de sólidos + Agua
6	Esmaltes	5000 kg de sólidos + Agua
7	Engobes Monoquema	17000 kg de sólidos + Agua
8	Engobes Porcelanato	1500-3000 kg de sólidos + Agua

Fuente: Ecuacerámica S.A

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

También se evidencio que no existe ningún registro del agua que se utiliza para la preparación de los esmaltes, por lo que no se conoce con certeza cuál es la cantidad de agua que se utiliza en la limpieza, existen dos medidores los cuales se utilizan para controlar la cantidad de agua que va en cada esmalte o producto que se vaya a preparar.

Medidor de agua 1: Molinos 0,1,2,3,4,5,6,7

Medidor de agua 2: Molino 8

La cantidad de agua depende del producto que se vaya a preparar ya sea un esmalte brillante o satinado, un engobe etc., si el producto final no tiene la densidad adecuada ocasionara problemas en la línea de esmaltación, y en el producto terminado.

Tabla 5-3. Cantidad de agua por producto

Tipo Producto	Cantidad de Agua (%)	Densidad (kg/m^3)
Esmalte brillante	36	1,83-1,85
Esmalte satinado	37	1,85-1,87
Engobe	33	1,81-1,83
Esmalgobio	60	1,58-1,61
Cubierta	70	1,40-1,42

Caramuros	98	1,15
-----------	----	------

Fuente: Ecuacerámica S.A

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

3.8.2.2. Caracterización de las muestras

Para la caracterización de las muestras se realizó el análisis químico en base a la tabla de “Análisis químico de aguas residuales en preparación de esmaltes sin depurar” que, según la literatura consultada son los residuos de metales más frecuentes en las aguas industriales de procesos cerámicos para la Muestra M1 y M2, realizando dos repeticiones para cada prueba estandarizada y reportando el promedio.

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

A continuación se detalla los resultados obtenidos después de la caracterización.

Tabla 6-3. Resultados caracterización muestras M1 y M2

Parámetros	Unidades	M1 (Agua cruda antes del proceso)	M2 (Agua residual después del proceso)
Turbiedad	NTU	0,20	55 650
Conductividad eléctrica	μS/cm	895,6	1 299
TDS	mg/L	542,8	790,7
pH		7,74	8,94
Sólidos suspendidos	mg/L	4	10 325
Sólidos sedimentables	ml/L	--	380
Cl ⁻	mg/L	17,0	709,0
SO ₄ ⁻²	mg/L	330	115 000
F ⁻	mg/L	1,22	73,00
DQO	mg/L	5,5	1 528
Ca ⁺²	mg/L	88,0	480,0
Mg ⁺²	mg/L	39,85	1 263,60
Al ⁺³	mg/L	<0,01	5,32
Fe	mg/L	0,12	80,50
Zn ⁺²	mg/L	0,12	21,5
Pb	mg/L	0,054	1,200
SiO ₂	mg/L	48,5	90

Fuente: Caracterización de muestras. Pruebas estandarizadas

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

3.8.2.3. Metales pesados tóxicos para la salud.

Los metales pesados son un conjunto de elementos químicos que muestran una densidad alta. ((NIOSH), 2017). Son en general tóxicos para los seres humanos, en el **Apéndice C - Otros límites**

de exposición según el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH)

menciona a los:

- Aldehídos,
- Asbesto,
- Vapores de asfalto,
- Tintas a base de bencidina-, o-toluidina y o-dianisidina,
- Alquitrán (carbón negro),
- Cloroetanos,
- Ácido crómico y cromatos (como CrO₃), compuestos de cromo(II) y cromo(III) (como Cr), y cromo metálico (como Cr),
- Polvo de carbón y de minas de carbón,
- Partículas volátiles de brea de alquitrán de hulla,
- Emisiones del horno de coque,
- Polvo de algodón (crudo),
- Plomo,
- Polvos minerales,
- Catalizador ESN NIAX®
- Tricloroetileno
- Carburo de tungsteno (cementado)

De los cuales el **plomo** se usa mucho en la manufactura de pilas eléctricas, en la industria del caucho y en la fabricación de barnices, vidrio y esmaltes. ((NIOSH), 2017)

Límites de exposición del plomo

NIOSH considera “plomo” al plomo metálico, los óxidos y las sales de plomo (incluidas las sales orgánicas como jabones de plomo, a excepción del arseniato de plomo). El **Límite de exposición recomendada (REL)** de NIOSH para el plomo (La concentración por promedio ponderado de tiempo “TWA” de 8 horas) es de 0,050 mg/m³; se deben mantener las concentraciones de aire para que los niveles de plomo en la sangre del trabajador se conserven en menos de 0,060 mg Pb/100 g de sangre.

El **Límite de exposición permisible (PEL)** de OSHA (TWA de 8 horas) es de 0,050 mg/m³, El **Límite de exposición permisible (PEL)** de OSHA (TWA de 8 horas) para “fundiciones de plomo no ferroso con menos de 20 empleados” es de 0,075 mg/m³.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del muestreo de agua residual de la industria cerámica

El muestreo se realizó del agua residual proveniente del proceso de preparación de esmaltes y del agua del pozo que se utiliza para la producción de esmaltes de la Empresa Ecuacerámica con el objetivo de conocer la concentración de metales en el efluente.

Según la norma **TULSMA**, en su **anexo 1** concerniente a las descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce o al alcantarillado público, indica los Parámetros de monitoreo de las descargas industriales en la Fabricación de productos de arcilla y cerámica refractaria y no refractaria, para uso estructural y no estructural.

Tabla 1-4. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales en la fabricación de cerámica refractaria y no refractaria, para uso estructural y no estructural.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/L	50
Aluminio	Al	mg/L	5
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cinc	Zn	mg/L	10
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/L	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/L	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500
Fósforo Total	P	mg/L	15,0
Hierro total	Fe	mg/L	25
Níquel	Ni	mg/L	2
Plomo	Pb	mg/L	0,5
Sólidos Sedimentables			20,0
Sólidos Suspendidos totales			220,0
Sólidos Totales			1600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	400,0

Fuente: Tulas Anexo 1

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Según la tabla de Parámetros de monitoreo de las descargas industriales en la Fabricación de cerámica refractaria y no refractaria, para uso estructural y no estructural; comparándolos con los datos obtenidos en la caracterización de las muestras M1 y M2 se tiene algunos parámetros que

están en concentraciones elevadas, en este caso como el efluente de la limpieza de los molinos no va a descargarse a la alcantarilla sino que se va a reutilizar en el proceso para la elaboración de nuevos esmaltes, no todos los parámetros deben ser tratados; pero nos muestra los parámetros que son de mayor control ya que son los que más problemas causan.

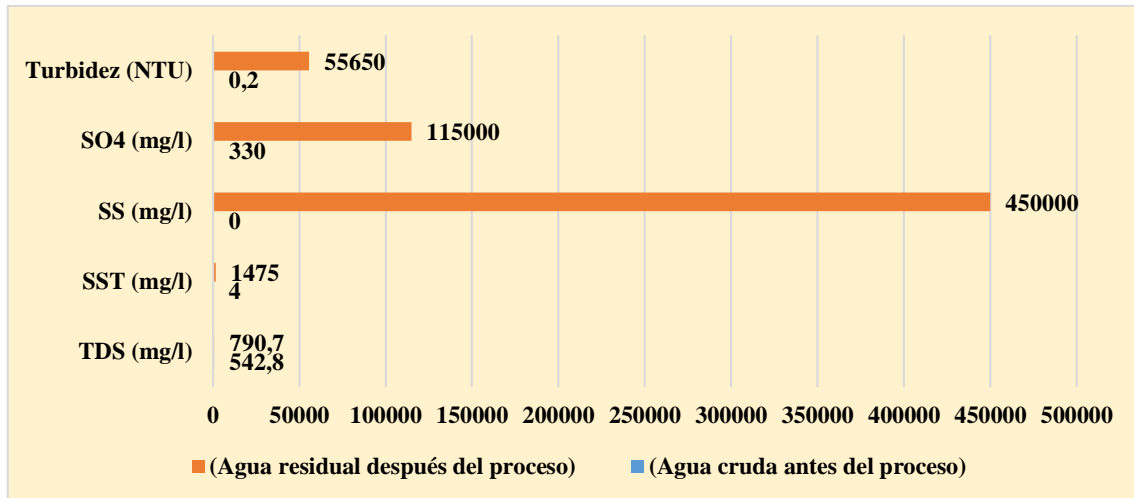


Gráfico 1-4. Datos obtenidos en la caracterización de muestras M1 y M2 (Sólidos y sulfatos)

Fuente: Datos de caracterización

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Según la gráfica se tiene que la *Turbidez*, *Sulfatos*, *Sólidos sedimentables*, y *sólidos totales disueltos* que son los más elevados requiriendo de un tratamiento.

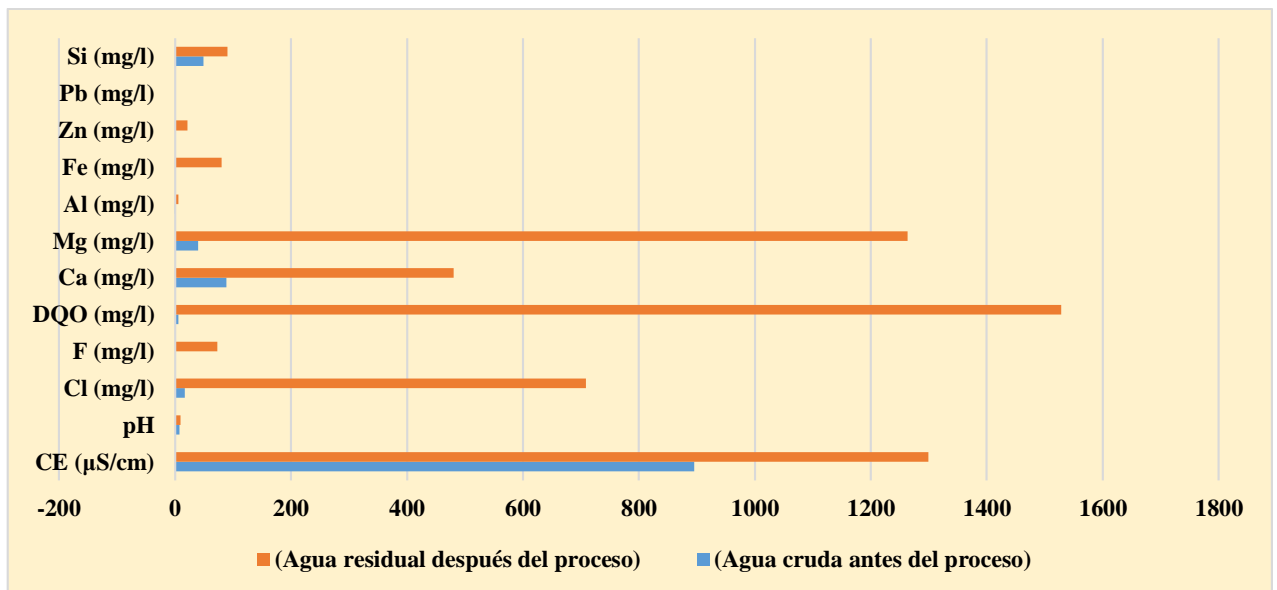


Gráfico 2-4. Datos obtenidos en la caracterización de muestras M1 y M2 (Demás parámetros)

Fuente: Datos de caracterización

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Según la gráfica se tiene que el Mg^{+2} , Ca^{+2} , DQO , Cl^{-1} son los más elevados requiriendo de un tratamiento.

Teniendo 8 parámetros en los cuales se va a realizar el tratamiento del agua para la reutilización en el proceso.

Tabla 2-4. Parámetros a tratar en la muestra M2

Parámetros	Unidades	M1 (Agua cruda antes del proceso)	M2 (Agua residual después del proceso)
Turbiedad	NTU	0,20	55 650
Sólidos suspendidos	mg/L	4	10 325
Sólidos sedimentables	ml/L	--	380
Cl^{-}	mg/L	17,0	709,0
SO_4^{-2}	mg/L	330	115 000
DQO	mg/L	5,5	1 528
Ca^{+2}	mg/L	88,0	480,0
Mg^{+2}	mg/L	39,85	1 263,6

Fuente: Caracterización de muestras. Pruebas estandarizadas

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

4.2. Tratamiento del agua Residual

Para el tratamiento del agua residual del área de esmaltado de la empresa Ecuacerámica, se va a utilizar dos químicos:

Coagulante: EXRO 614 es un coagulante catiónico primario, utilizado como coagulante en el tratamiento de aguas potables y en el tratamiento de efluentes municipales e industriales. Ver *Ficha técnica en el Anexo I*

Floculante: EXRO 663 es una poliacrilamida de ultra alto peso molecular de carácter aniónico, utilizado eficientemente en los procesos de espesamiento y deshidratación de lodos, aguas residuales, aplicación en campos petroleros y como floculante en clarificación para aguas potables, en especial cuando el floc está expuesto a alto rompimiento. Ver *Ficha técnica en el Anexo J*

Estos químicos en su composición tienen aluminio que es el adecuado ya que el pH del agua residual es de **8,94** teniendo un carácter básico para que todos los sólidos en suspensión precipiten.

Se va a trabajar en muestras de 500 ml de agua residual, de las cuales se va a controlar la turbiedad inicial y la turbiedad final. Se va a utilizar el equipo del *Test de Jarras* del laboratorio, iniciando con 150 rpm durante el primer minuto donde se añade el coagulante, y después una agitación de 40 rpm por diez minutos donde se añade el floculante. A todas las muestras se las va a dejar

reposar por 24 horas en envases cónicos invertidos para que decanten los sólidos, simulando así la primera etapa del tratamiento.

4.2.1. Pruebas de tratabilidad. Test de Jarras

Se preparó una solución madre del coagulante y del floculante: *Coagulante: 30000 ppm; Floculante: 80 ppm*; para ir variando el volumen de los químicos y encontrar la concentración adecuada para disminuir los parámetros a tratar.

Tabla 3-4. Ensayo 1-Pruebas de tratabilidad

	P1	P2
Concentración del Coagulante (ppm):	1200	2000
Concentración del Floculante (ppm):	0,3	0,3
Turbidez inicial (NTU):	12740	12740
Turbidez final (NTU):	301	260

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

En el Ensayo 1, al añadir los químicos y esperar que reposen las muestras M2, se observó una clarificación en el agua, pero no la esperada, ya que la turbiedad final sigue siendo alta.

Tabla 4-4. Ensayo 2- Pruebas de tratabilidad

	P3	P4	P5	P6
Concentración del Coagulante (ppm):	3000	3600	4200	4800
Concentración del Floculante (ppm):	0,8	0,8	0,8	0,8
Turbidez inicial (NTU):	5800	5800	5800	5800
Turbidez final (NTU):	202	176	9,7	1,15

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

En el ensayo 2, se subió la concentración del coagulante y floculante, manteniendo constante la concentración del floculante; teniendo una mayor clarificación, lo que se evidencia en la prueba 5 y 6 donde en la medición final de turbiedad se tuvo 9,7 NTU y 1,15 NTU, por lo cual se realiza una caracterización de los parámetros que se quiere bajar.

Tabla 5-4. Ensayo 3- Pruebas de tratabilidad

	P7	P8	P9	P10
Concentración del Coagulante (ppm):	4830	4860	4920	4920
Concentración del Floculante (ppm):	0,8	0,96	0,96	1,12
Turbidez inicial (NTU):	3500	3500	24400	24400
Turbidez final (NTU):	0,35	0,39	7,6	7,1

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

En el ensayo 3, se subió la concentración del coagulante y floculante, teniendo una mayor clarificación, lo que se evidencia en todas las pruebas en la medición final de turbiedad, pero al agitar el precipitado no es muy estable por lo que mezcla con el agua clarificada.

Tabla 6-4. Ensayo 4- Pruebas de tratabilidad

	P11	P12	P13	P14	P15
Concentración del Coagulante (ppm):	4800	4800	4860	4920	4920
Concentración del Floculante (ppm):	1,12	1,28	1,28	0,96	1,12
Turbidez inicial (NTU):	15250	15250	15250	15250	15250
Turbidez final (NTU):	1,68	1,50	0,69	1,20	0,56

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

En el ensayo 4, se subió la concentración del coagulante y floculante, teniendo una mayor clarificación, el objetivo es que el precipitado sea más estable para evitar que se mezcle con el agua clarificada. Se evidencia que la turbiedad final es baja. Se realiza una caracterización de las pruebas 11 y 13 que son aquellas que el precipitado descendió más rápido.

4.2.2. Resultados de caracterización del agua tratada.

Tabla 7-4. Caracterización Pruebas 5,6,11 y 13.

Parámetros	Unidades	M1 (Agua cruda antes del proceso)	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 11	PRUEBA 13
			Coagulante: 4200 ppm	Coagulante: 4800 ppm	Coagulante: 4800 ppm	Coagulante: 4860 ppm
			Floculante: 0,8 ppm	Floculante: 0,8 ppm	Floculante: 1,12 ppm	Floculante: 1,28 ppm
Turbiedad	NTU	0,20	9,7	1,15	1,68	0,69
Sólidos suspendidos	mg/L	4	2	<1	<1	<1
Sólidos sedimentables	mg/L	--	--	--	--	--
Cl⁻	mg/L	17,02	70,19	41,12	73,02	65,93
SO₄⁻²	mg/L	330	570	455	190	155
DQO	mg/L	5,5	180	36	70	56
Ca⁺²	mg/L	88	113,6	96	185,6	179,2
Mg⁺²	mg/L	39,85	28,18	14,58	26,24	15,55
CE	mS/cm	895,6	3,01	1,92	2,63	2,51
TDS	mg/L	542,8	1,84	1,17	1,58	1,52
pH		7,74	7,87	7,16	7,57	7,51
Residuo sólido seco	g	--	3,30	1,97	6,76	6,98

Fuente: Caracterización de muestras. Pruebas estandarizadas

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Se puede observar que todos los parámetros han bajado significativamente, pero se sigue teniendo los *cloruros* y los *sulfatos* un poco elevados en comparación con el agua cruda.

4.3. Cargas de esmalte con agua clarificada.

Se realiza pruebas en el *Laboratorio de Investigación de la empresa Ecuacerámica* con las aguas clarificadas, a pesar de que se tiene la concentración de *cloruros* y *sulfatos* un poco elevada, el fin de las pruebas es observar en la preparación de esmalte si causa algún problema en la de floculación o al momento de la quema del esmalte. Se va a controlar las densidades y las viscosidades que son las variables de control para la aplicación de un esmalte en la línea.

Se va a preparar 6 muestras de engobe y esmalte brillante incluyendo con el agua cruda que va a ser el estándar para poder comparar.

Engobe: **EM-186**

Esmalte brillante: **M-09194**

Las muestras fueron quemadas en el horno 2070 de la línea de esmaltación 2, a una temperatura de 1113-1130 °C, durante 35 min.

Tabla 8-4. Elaboración del engobe EM-186

	Muestra 0	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Concentración del Coagulante (ppm):	Agua Cruda	4200	4800	4800	4860	4860
Concentración del Floculante(ppm):	Agua Cruda	0,8	0,8	1,12	1,28	1,12
Densidad (g/ml):	1,80	1,79	1,80	1,80	1,80	1,80
Viscosidad (s):	0,34	0,44	0,44	0,49	0,44	0,40

Figura. Trazos de EM-186

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

En la elaboración del engobe no se tuvo ninguna dificultad, las densidades y las viscosidades están dentro de los parámetros con los cuales se trabaja en las líneas de esmaltación, después de la quema de la placa; en los trazos se analizó el color, la textura y el brillo, no se observó ninguna variación.

Tabla 9-4. Elaboración del esmalte M-09194

	Muestra 0	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Concentración del Coagulante (ppm):	Agua Cruda	4200	4800	4800	4860	4860

Concentración del Flocculante(ppm):	Agua Cruda	0,8	0,8	1,12	1,28	1,12
Densidad (g/ml):	1,83	1,82	1,81	1,82	1,83	1,83
Viscosidad (s):	0,33	0,50	0,30	0,54	0,60	0,60

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

En la elaboración del esmalte no se tuvo ninguna dificultad, las densidades y las viscosidades están dentro de los parámetros con los cuales se trabaja en las líneas de esmaltación, cabe indicar que las muestras 4 y 5 obtuvieron una viscosidad con el límite máximo permisible. Después de la quema de la placa; en los trazos de análisis el color, la textura y el brillo, no se observó ninguna variación ni ningún defecto provocado por el esmalte.

4.4. Cálculo del porcentaje de remoción

Para determinar la dosificación óptima de químicos para el tratamiento del agua residual, se va a utilizar el porcentaje de remoción para cada parámetro que se trató, con los valores antes y después del tratamiento.

$$\% \text{Remoción} = \frac{X_o - X_f}{X_o} \times 100$$

Dónde:

X_o = Valor inicial

X_f = Valor final

4.4.1. Cálculo del porcentaje de remoción de turbiedad (Prueba 5)

$$\% \text{Remoción Turbiedad} = \frac{5800 \text{ NTU} - 9,7 \text{ NTU}}{5800 \text{ NTU}} \times 100$$

$$\% \text{Remoción Turbiedad} = 99,83 \%$$

Con la misma fórmula se calculan las demás remociones tomando como datos iniciales y finales de cada parámetro, los datos antes y después del tratamiento para cada prueba.

Tabla 5-4. Porcentaje de remoción para cada parámetro

	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 11	PRUEBA 13
	Coagulante: 4200 ppm	Coagulante: 4800 ppm	Coagulante: 4800 ppm	Coagulante: 4860 ppm
	Floculante: 0,8 ppm	Floculante: 0,8 ppm	Floculante: 1,12 ppm	Floculante: 1,28 ppm

Remoción de turbiedad (%)	99,83	99,98	99,99	100,00
Remoción de sólidos suspendidos (%)	99,98	100,00	100,00	100,00
Remoción de cloruros (%)	90,10	94,20	89,70	90,70
Remoción de sulfatos (%)	99,5	99,60	99,83	99,87
Remoción de DQO (%)	88,22	97,64	95,42	96,34
Remoción de calcio (%)	76,33	80,0	61,33	62,67
Remoción de magnesio (%)	97,77	98,85	97,92	98,77

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

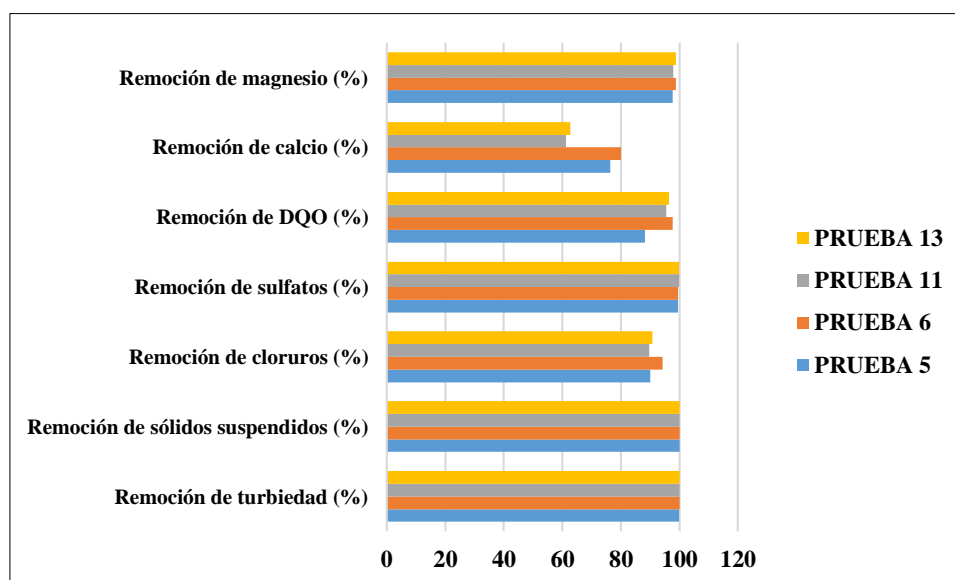


Gráfico 1-4. Porcentajes de Remoción

Fuente: Datos de remoción

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Al analizar la Gráfica de *Porcentajes de Remoción* se determinó que las mejores dosificaciones de químicos para el tratamiento del agua residual proveniente del área de preparación de esmaltes utilizada en la limpieza de los molinos es la correspondiente a la *Prueba 11* y la *Prueba 13* con las cuales se tuvo flóculos estables y porcentajes de remoción entre 95 a 100 % a excepción de los cloruros y calcio; pero no influyen en la defloculación de un esmalte, como se lo demostró en las pruebas de laboratorio.

Quedando la concentración óptima, de la **Prueba 11** al consumir menos químicos, y por ende influirá en los costos, siendo de:

Coagulante: 4800 ppm

Floculante: 1,12 ppm

4.5. Validación del tratamiento

Para la validación del tratamiento se realizó una prueba industrial de 100Kg de engobe y esmalte para Porcelanato, con la dosificación óptima.

Se recolecto 150 L de agua residual justo en el momento de la limpieza los molinos y los silos de almacenamiento de esmalte, la cual se depositó en un tanque y se dejó que sedimente por 24 horas; se midió la turbiedad, CE, pH, TDS antes y después del tratamiento.

Tabla 6-4. Prueba industrial agua residual

	Agua residual antes del tratamiento	Agua residual clarificada después del tratamiento
Turbiedad (NTU)	7838	3,07
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0,866	1,614
pH	8,93	7,33
TDS (mg/L)	527,5	1,115x10 ⁻⁶

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

4.5.1. Cálculos para dosificaciones de químicos para la prueba industrial

La dosificación de los químicos se calculó a partir de la ecuación de concentración.

$$\text{ppm} = \frac{\text{masa soluto (mg)}}{\text{volumen solución (L)}}$$

Dónde se despeja la masa del soluto

$$\text{masa soluto (mg)} = \text{ppm} \times \text{volumen solución (L)}$$

4.5.1.1. Cálculo de la dosificación del coagulante

$$\text{masa soluto} = 4800 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 150 \text{ L} \times \frac{1\text{g}}{1000 \text{ mg}}$$

$$\text{masa soluto} = 720 \text{ g}$$

4.5.1.2. Cálculo de la dosificación del floculante

$$\text{masa soluto} = 1,12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 150 \text{ L} \times \frac{1\text{g}}{1000 \text{ mg}}$$

$$\text{masa soluto} = 0,168 \text{ g}$$

4.5.2. Preparación del esmalte y engobe.

Una vez añadidos los químicos y haber agitado el agua residual, se deja que sedimente los flóculos, se extrae manualmente el agua clarificada para preparar la carga de esmalte y engobe para el producto IVORY BEIGE formato 60x60. Preparados el esmalte y engobe se realiza un trazo antes de hacer la prueba en la línea de esmaltación para verificar si no existe ningún defecto tanto en el esmalte como en el engobe.

Tabla 7-4. Condiciones de descarga de esmalte y engobe.

	ENGOBE	ESMALTE
	ENGP-0024/2	21-14/0 + WBB
Densidad (g/ml)	1,78	1,82
Viscosidad (s)	30	54

Fuente: Datos de descarga de molinos.

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

4.5.3. Aplicación en la línea de esmaltación de porcelanato.

Una vez preparado el engobe y el esmalte, se ajusta la viscosidad y la densidad según Normas Internas especificadas en las fichas técnicas de cada producto, para evitar problemas en la aplicación en la línea de esmaltación.

Tabla 8-4. Condiciones de aplicación en la línea de esmaltación.

	ENGOBE	ESMALTE
	ENGP-0024/2	21-14/0 + WBB
Densidad (g/ml)	1,77	1,80
Viscosidad (s)	22	28
Peso de capa (g)	143	162

Fuente: Datos de aplicación en la línea.

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Ajustados las condiciones de densidad y viscosidad para la esmaltación se procede a la limpieza de la línea, y a cargar las pruebas.

4.5.4. Análisis en producto terminado

El producto fue quemado en el horno 2670 de la línea de esmaltación 3 a una temperatura de 1168-1172 °C durante un ciclo de 58 minutos.

Los análisis que se realizan en el laboratorio de Control de calidad de la empresa Ecuacerámica para verificar la calidad de un esmalte son:

- a) Análisis de aspecto superficial
- b) Resistencia a la abrasión
- c) Determinación de la resistencia química
- d) Resistencia a las manchas.

4.5.4.1. Análisis de aspecto superficial

Según la Norma NTE INEN-ISO 13006 en el ensayo 10545-2 en el análisis visual aspecto superficial, se evidencia la textura el color y el brillo, así como la presencia de algún defecto producido por el esmalte, las placas elaboradas con el esmalte de prueba no presentan defectos; la textura y el brillo son los correctos, en cuanto al matiz es un poco amarillento, pero no se debe al esmalte.

Se evidencio un poco de *pinjol*, como también presentan las placas elaboradas con el esmalte normal, pero no es causa de baja de calidad ya que los defectos se aprecian a un metro y medio metros de distancia y con 300 luxes de alumbrado según la Norma NTE INEN-ISO 13006 BALDOSAS CERÁMICAS-DEFINICIONES, CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y ROTULADO.

4.5.4.2. Resistencia a la abrasión.

Según la Norma NTE INEN-ISO 13006 en el ensayo 10545-7 para el análisis de resistencia a la abrasión se siguen los siguientes pasos:

- a) Cortar un pedazo de la placa de un tamaño mínimo de 10x10cm.
- b) Colocar en el ABRASÍMETRO, y añadir una carga de bolas de acero de 175 g.
- c) Añadir 20 ml de agua.
- d) Añadir 3g de Óxido de aluminio.

- e) Programar las revoluciones, para un PEI II, realizar tres placas con 100, 600 y 750 revoluciones; para un PEI III repetir tres placas con 600, 750, 1500 revoluciones.

Al realizar el PEI tanto a la placa de prueba como a la normal, se tiene un PEI II.

4.5.4.3. Determinación de la resistencia química.

Según la Norma NTE INEN-ISO 13006 en el ensayo 10545-13 para la resistencia química se coloca sobre las placas ácidos y bases fuertes se deja que actúe por 48 horas, se observa si produce daño en el esmalte.

Tabla 9-4. Determinación de la resistencia química.

Agentes químicos	Reporte
HCl 3% (v/v)	No presenta
Ácido cítrico 100g/L	No presenta
KOH 30g/L	No presenta
HCl 18% (v/v)	No presenta
Ácido láctico 5% (v/v)	No presenta
KOH 100g/L	No presenta

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

4.5.4.4. Resistencia a las manchas.

Según la Norma NTE INEN-ISO 13006 en el ensayo 10545-14 para la resistencia a las manchas se coloca sobre las placas agentes químicos, se deja que actúe por 24 horas y se observa si produce daño en el esmalte.

Tabla 10-4. Resistencia a las manchas.

Agentes químicos	Reporte
Yodo	No presenta
Verde Cromo	No presenta
Aceite de oliva	No presenta

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA DE LA PLANTA DE TRATABILIDAD

CÁLCULOS DEL DISEÑO INGENIERIL DE LA PLANTA DE TRATABILIDAD.

5.1. Caudal de diseño

El caudal de diseño lo determinamos mediante, la medición directa del caudal del lavado de los molinos, en diferentes días del mes, teniendo un promedio de 235,95 L/min.

$$Q = 235,95 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$Q = 0,003932 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esta planta tiene una proyección de 5 años, por lo cual se establece un crecimiento en la producción del 33,52%, hemos adoptado un incremento del 40% en el caudal.

$$Q_d = 0,003932 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 0,4 \times (0,003932)$$

$$Q_d = 0,0055 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.2. Cribado o desbaste.

5.2.1. Selección parámetros de la reja

Definimos los factores de diseño de rejillas gruesas y medias de barras con limpieza manual, citados en la *Tabla 26. Factores de diseño de cribas.*

Tabla 1-5. Factores de diseño

FACTORES DE DISEÑO		
Factor de diseño	MEDIDA	UNIDADES
Q_{\max}	0,0066	m^3/s
B	0,6	m
α	45	°
Z	0,1	m
Espaciamiento (b)	25	mm
Espesor de la barra (wb)	10	mm
Profundidad de la barra	0,5	mm
Velocidad en la reja	0,7	m/s

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

5.2.2. Cálculo de la eficiencia de la barra

La eficiencia de la barra se determina mediante la *Ecuación 2*.

$$E = \frac{b}{b + wb}$$

$$E = \frac{25\text{mm}}{25\text{mm} + 10\text{mm}}$$

$$E = 0,714$$

5.2.3. Cálculo de la suma de separaciones entre barros

La suma de separaciones entre barros, se determina mediante la *Ecuación 3*.

$$b_g = \left(\frac{B - b}{b + wb} + 1 \right) \times b$$

$$b_g = \left(\frac{0,3\text{m} - 0,025\text{m}}{0,025\text{m} + 0,010\text{m}} + 1 \right) \times 0,025\text{m}$$

$$b_g = 0,22\text{m}$$

5.2.4. Cálculo del área entre espacios

El área entre espacios, se determina mediante la *Ecuación 4*.

$$A_e = \frac{y_2}{\text{sen } \alpha} \times b_g$$

$$A_e = \frac{0,1758\text{m}}{\text{sen } 45^\circ} \times 0,22\text{m}$$

$$A_e = 0,055 \text{ m}^2$$

5.2.5. Cálculo de la velocidad del agua entre los espacios de la rejilla.

La velocidad del agua entre los espacios de la rejilla, se determina mediante de la *Ecuación 5*.

$$v_e = \frac{Q}{A_e}$$

$$v_e = \frac{0,0055 \text{ m}^3/\text{s}}{0,055 \text{ m}^2}$$

$$v_e = 0,10 \text{ m/s}$$

5.2.6. Cálculo del número de barras (n)

El número de barras, se determina mediante la *Ecuación 6*.

$$N = \frac{b_g}{b}$$

$$N = \frac{0,22 \text{ m}}{0,025 \text{ m}}$$

$$N = 8,8$$

El número de barras necesarias en la rejilla es de 9.

5.2.7. Cálculo de pérdidas de carga en rejas parcialmente sucias.

Las pérdidas de carga, se determinan mediante la *Ecuación 7*.

$$h_L = 1,43 \times \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

$$h_L = 1,43 \times \left(\frac{\left(\frac{0,1\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - (0,1\text{m/s} \times 0,714)^2}{2 \times 9,81\text{m/s}^2} \right)$$

$$h_L = 0,0003576 \text{ m}$$

5.2.8. Cálculo del ajuste de ancho de la rejilla.

El ajuste del ancho de la rejilla, se determinan mediante la *Ecuación 8*.

$$b_f = (n \times wb) + (n - 1) \times b$$

$$b_f = (9 \times 0,01\text{m}) + (9 - 1) \times 0,025\text{m}$$

$$b_f = 0,29 \text{ m}$$

5.2.9. Cálculo de la longitud total del canal.

La longitud total del canal, se determina mediante la *Ecuación 9*.

$$L_t = (2 \times b_f) + (0,8 \times (2 \times b_f))$$

$$L_t = (2 \times 0,3\text{m}) + (0,8 \times (2 \times 0,3\text{m}))$$

$$L_t = 1,04 \text{ m}$$

5.3. Tanque de recepción del agua residual

5.3.1. Volumen del tanque de recepción del agua residual

El volumen del tanque del agua a tratar, lo determinamos mediante la *Ecuación 10*

$$V_t = V_{\text{max}} \times f_s$$

$$V_t = 7,2 \text{ m}^3 \times 1,4$$

$$V_t = 10,08 \text{ m}^3$$

Se dimensionará un tanque con un volumen de almacenamiento de 10 m^3 .

5.3.2. Área del tanque de recepción del agua residual

El área del tanque de recepción del agua residual, lo determinamos en función del volumen y la altura, por motivos de diseño se establecerá un $H_t=3 \text{ m}$, mediante la *Ecuación 11*.

$$A_t = \frac{V_t}{H_t}$$

$$A_t = \frac{10 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$

$$A_t = 3,33 \text{ m}^2$$

5.3.3. Longitud del tanque de recepción del agua residual

La longitud del tanque de recepción del agua residual, lo determinamos mediante la *Ecuación 12*.

$$L = \frac{A_t}{B}$$

$$L = \frac{3,33 \text{ m}^2}{1,5 \text{ m}}$$

$$L = 2,22 \text{ m}$$

5.3.4. Inclinación del fondo del tanque de recepción del agua residual.

El grado de inclinación del fondo se establecerá en el 10%, para un mejor deslizamiento de los sedimentos.

5.4. Flocculador mecánico (Agitador paleta)

5.4.1. Criterio para diseño de flocculadores mecánicos.

Definimos los factores de diseño, según Metcalf y Eddy:

Tabla 11-5. Factores de diseño

Factores de diseño		
Factor de diseño	MEDIDA	UNIDADES
G	50	s ⁻¹
t	25	min
G_t	10000-100000	
Velocidad de paletas	0,5-0,9	m/s
μ	1,139 x 10 ⁻³	Pa*s

Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

5.4.2. Cálculo del volumen del floculador

Para los cálculos del floculador mecánico el caudal se trabaja en m³/d.

$$Q = 0,0055 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{d}}$$
$$Q = 475,2 \text{ m}^3/\text{d}$$

El tiempo de retención lo hemos definido mediante la *tabla 27. Factores de diseño* que se determinó en **25 min**, el volumen del floculador, está determinado mediante la *Ecuación 13*.

$$V = Q \times t$$
$$V = 475,2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 25 \text{ min} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$
$$V = 8,25 \text{ m}^3$$

Se adaptará un volumen de 8,5 m³, por motivos de diseño.

$$V = 8,5 \text{ m}^3$$

5.4.3. Cálculo de la potencia disipada de la mezcla

La potencia disipada de la mezcla, está determinada mediante la *Ecuación 14*, adoptamos un gradiente de velocidad de **50 s⁻¹**.

$$P = G^2 \times V \times \mu$$
$$P = (50 \text{ s}^{-1})^2 \times 8,5 \text{ m}^3 \times 1,139 \times 10^{-3}$$
$$P = 23,63 \text{ W}$$

Se adaptará una potencia de 25 W, por motivos de diseño.

$$P = 25 \text{ W}$$

5.4.4. Cálculo del área del floculador

El área del floculador, está determina mediante la *Ecuación 15*.

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{8,5 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}}$$

$$A = 5,66 \text{ m}^2$$

Se adaptará una potencia de 5,7 m², por motivos de diseño.

$$A = 5,7 \text{ m}^2$$

5.4.5. Cálculo del área de las paletas movimiento.

El área de las paletas del floculador mecánico, se determinar mediante un factor de la sección transversal, apropiado para el correcto movimiento.

$$Q_p = 2,8\text{m} \times 1,3\text{m} \times 0,20$$

$$Q_p = 0,728 \text{ m}^2$$

Se propone 2 paletas simétricas de 0,7 m × 0,4 m cada una, las mismas se colocarán con un radio de giro 1,2 m.

5.4.6. Cálculo de la velocidad diferencial.

La velocidad diferencial se determina mediante el coeficiente de arrastre, según *Rouse* está se obtiene mediante la relación de la longitud de la paleta y el ancho de la paleta.

$$\alpha = \frac{L_p}{b_p}$$

$$\alpha = \frac{0,7}{0,4}$$

$$\alpha = 1,75$$

Comparamos el resultado obtenido con la *Tabla 4. Coeficientes de arrastre*, y establece que para una relación $\alpha < 5$, un $C_D = 1,16$. Aplicamos la *Ecuación 16*.

$$v = \left(\frac{2P}{C_D \times \rho \times A} \right)^{1/3}$$

$$v = \left(\frac{2 \times 25 \text{ W}}{1,16 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \text{ m}^2} \right)^{1/3}$$

$$v = \left(\frac{2 \times 25 \text{ W}}{1,16 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \text{ m}^2} \right)^{1/3}$$

$$v = 0,394 \text{ m/s}$$

5.4.7. Cálculo de la velocidad de las paletas.

La velocidad de las paletas, está determinada mediante la *Ecuación 17*.

$$v_p = \frac{v}{0,75}$$

$$v_p = \frac{0,394 \text{ m/s}}{0,75}$$

$$v_p = 0,53 \text{ m/s}$$

5.4.8. Cálculo de la velocidad de rotación

La velocidad de rotación, está determinada mediante la *Ecuación 18*.

$$N = \frac{v_p}{2\pi \times R}$$

$$N = \frac{0,53}{2\pi \times 1,2}$$

$$N = 0,070 \text{ RPS}$$

$$N = 4,25 \text{ RPM}$$

Se adaptará una velocidad de rotación de 5 RPM, por motivos de diseño.

$$N = 5 \text{ RPM}$$

5.4.9. Cálculo del número adimensional de camp.

El número adimensional de Camp, está determinada mediante la *Ecuación 19*.

$$G_t = G \times t_r$$

$$G_t = 50 \text{ s}^{-1} \times 20 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$G_t = 60000$$

5.4.10. Dosificaciones de químicos en el floculador

5.4.10.1. Dosificación del coagulante EXRO 614

$$\text{masa soluto (mg)} = \text{ppm} \times \text{volumen solución (L)}$$

$$\text{masa soluto} = 4800 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 8500 \text{ L} \times \frac{1\text{g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}$$

$$\text{masa soluto} = 40,8 \text{ kg/día}$$

5.4.10.2. Calculo de la dosificación del floculante EXRO 663

$$\text{masa soluto} = 1,12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 8500 \text{ L} \times \frac{1\text{g}}{1000 \text{ mg}}$$

$$\text{masa soluto} = 9,52 \text{ g/día}$$

5.5. Lecho de secado de fangos

5.5.1. Volumen diario de fangos digeridos

El volumen diario de fangos digeridos se determina en función del % de humedad de los fangos, el % de sólidos presentes en el fango, esto lo hemos determinado de manera experimental.

El porcentaje de humedad de fangos se determina por evaporación del agua contenida en la muestra de fango una vez ya ha sufrido el proceso de sedimentación, coagulación – floculación, mediante la fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}}$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{111,4\text{g} - 10,95\text{g}}{111,4 \text{ g}}$$

$$\% \text{ humedad} = 0,9017$$

$$\% \text{ humedad} = 90,17$$

El porcentaje total de sólidos se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Total de sólidos} = 100 - \% \text{ humedad}$$

$$\% \text{ Total de sólidos} = 100 - 90,17$$

$$\% \text{ Total de sólidos} = 9,829$$

El volumen de fangos lo establecemos con la *Ecuación 20*.

$$\mathbf{Vfd} = \mathbf{V} \times \% \text{ humedad} \times \% \text{ Total de sólidos}$$

$$Vfd = 8,5 \text{ m}^3 \times 0,9017 \times 0,0983$$

$$Vfd = 0,7580 \text{ m}^3$$

5.5.2. Volumen del lecho de secado

El volumen del tanque donde se depositarán los fangos depende del tiempo de retención de los fangos en nuestro estudio lo fangos van a ser reutilizados en el proceso de preparación de esmaltes, fijaremos un tiempo de retención de 2 días y del volumen diario de lodos, lo determinamos mediante la *Ecuación 21*.

$$Vef = \frac{Vfd \times Td}{1000}$$

$$Vef = 0,7580 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 2\text{d}$$

$$Vef = 1,516 \text{ m}^3$$

5.5.3. Área del lecho del secado

El área de lecho de secado de fangos, se determina en función del volumen del tanque y la profundidad del lecho, se recomienda que la profundidad se encuentre entre 0,2 -0,4 m, estableceremos una altura de lecho de 0,4 m, se determina mediante la *Ecuación 22*.

$$Als = \frac{Vef}{Ha}$$

$$Als = \frac{1,516 \text{ m}^3}{0,4 \text{ m}}$$

$$Als = 3,79 \text{ m}^2$$

5.5.4. Longitud del lecho del secado

La longitud del lecho de secado de fangos, se determina en función del área del lecho y el ancho del lecho, se adoptará un **B=2,0 m**, debido al poco espacio del área de la planta, se determina mediante la *Ecuación 23*.

$$L = \frac{Als}{B}$$

$$L = \frac{3,79 \text{ m}^2}{2,0 \text{ m}}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

5.6. Tanque de almacenamiento del agua tratada

5.6.1. Volumen del tanque de almacenamiento del agua tratada

El volumen del tanque de almacenamiento del agua tratada se determina, mediante la *Ecuación 24*.

$$V_t = Q \times t_c \times f_s$$

$$V_t = \frac{0,0055 \text{ m}^3}{\text{s}} \times 1080 \text{ s} \times 1,2$$

$$V_t = 7,12 \text{ m}^3$$

Se dimensionará un tanque de almacenamiento del agua tratada con un volumen de almacenamiento de 8m³.

5.6.2. Altura del tanque de almacenamiento del agua tratada

La altura del tanque de almacenamiento del agua tratada, lo determinamos mediante la *Ecuación 25*.

$$H_t = \frac{V_t}{A_t}$$

$$H_t = \frac{8 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^2}$$

$$H_t = 2,66 \text{ m}$$

5.6.3. Longitud del tanque de almacenamiento del agua tratada

La longitud del tanque de almacenamiento del agua tratada, lo determinamos mediante la *Ecuación 26*.

$$L = \frac{A_t}{B}$$

$$L = \frac{3 \text{ m}^2}{2 \text{ m}}$$

$$L = 1,5 \text{ m}$$

5.7. Comprobación de hipótesis

5.7.1. Hipótesis general

De conformidad con los resultados experimentales puedo argumentar que al diseñar un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado se dará un tratamiento diario a los 8,5 m³ de agua que desperdician en la limpieza.

5.7.2. Hipótesis específicas

- a. Al realizar el diagnóstico del manejo de efluentes del área de preparación de esmaltes, se pudo establecer que los fangos están constituidos en su mayoría por residuos de esmalte (materia prima), evitar descargas directas de aguas residuales industriales al alcantarillado público.
- b. Mediante la caracterización de las aguas provenientes de la limpieza del área de esmaltado de la planta de pisos se determinó los siguientes parámetros en concentraciones más elevadas que el agua cruda del pozo: *turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, cloruros, sulfatos, DQO, calcio y magnesio* los cuales pueden causar daño a la salud de los trabajadores y el medio ambiente.
- c. Con las pruebas de tratabilidad se tiene un factor de remoción del 92%, mediante la adición de un coagulante EXRO 614 y floculante EXRO 663.
- d. Con el diseño el sistema de tratamiento se puede reincorporar al proceso de preparación de nuevos esmaltes el 79% del agua de limpieza de los molinos.
- e. El control de calidad realizado en el porcelano elaborado con un esmalte y engobe con agua recuperada, presenta características similares que un Porcelanato normal.

5.7.3. Discusión de resultados

Los análisis físico químicos del agua residual a tratar se basan en la caracterización del agua cruda del pozo, se tuvo que la *turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, cloruros, sulfatos, DQO, calcio y magnesio*, se encontraron en concentraciones más elevadas que el agua cruda del pozo, para disminuir estos parámetros se creó una propuesta de diseño que constará de: una área de cribado, tanque de recepción, floculación mecánica con el coagulante EXRO 614 y el floculante EXRO 663, lecho de secado, y tanque de almacenamiento del agua tratada.

La dosificación de químicos óptima determinada mediante pruebas de tratabilidad es de: *Coagulante EXRO 614: 4800 ppm, Floculante EXRO 663: 1,12 ppm*; obteniendo una turbiedad final de 1,69 NTU, y sólidos suspendidos con un valor <1 con un floculo más estable.

Las características iniciales del agua residual proveniente del área de preparación de esmaltes comparada con el agua tratada reflejan un porcentaje de remoción de: turbiedad del 99,99%; sólidos suspendidos 100,0 %; cloruros 89,70 %; sulfatos 99,83 %; DQO 95,42 %; calcio 61,33 %; magnesio 97,92 %.

El sistema de tratamiento para el agua residual del área de preparación de esmaltes de la planta de Pisos de la empresa Ecuacerámica de la ciudad de Riobamba tendrá un costo de implementación de \$22982,35 (*Ver Análisis de costos en el Anexo L*), el diseño del sistema se basa en CODIGO ECUATORIANO DE LA CONTRUCCIÓN, CPE INEN 005 parte 9-2.

En el lecho de secado de fangos químicos habrá una producción diaria de **0,7580 m³ al día**, los mismos que se pueden reutilizar en la elaboración de un esmalte recuperado, o como nueva materia prima.

Al validar el agua tratada, mediante una prueba industrial para el producto **IVORY BEIGE** de porcelanato formato 60X60, no se tuvo problemas en la defloculación del esmalte en el momento de la aplicación con “vela” en el producto crudo, se trabajó para el engobe **ENGP-0024/2** una densidad de 1,77 g/ml; una viscosidad de 22 s; para el esmalte **21-14/0 + WBB** una densidad e 1,80 g/ml; y una viscosidad de 28 s. En el producto terminado no presento ningún defecto en el esmalte teniendo un PEI II, y no reporto novedades a las pruebas de resistencia a las manchas y agentes químicos según lo establece la Norma NTE INEN-ISO 13006 BALDOSAS CERÁMICAS-DEFINICIONES, CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y ROTULADO.

CONCLUSIONES

- a) Al diseñar un sistema de tratamiento de las aguas provenientes del área de esmaltado se logró reutilizar el agua clarificada en la elaboración de nuevos esmaltes y engobes que tienen las mismas condiciones de aplicación, obteniéndose un valor aproximado de 6,3 m³ al día de agua clarificada.
- b) Se determinó que, en el área de preparación de esmaltes, no existe un manejo adecuado de efluentes, ya que son desechados al sistema de alcantarillado, además no se lleva una estadística del agua que se utiliza en la limpieza del área.
- c) La caracterización del agua residual cruda se indicó que existen 8 parámetros elevados con respecto al agua cruda del pozo que son: cloruros, sulfatos, DQO, calcio, magnesio, turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables.
- d) Para el tratamiento del agua residual se utilizó dos químicos, un coagulante EXRO 614 de naturaleza catiónica y un floculante EXRO 663 de naturaleza aniónica, en concentraciones de: 4800 ppm, 1,12 ppm respectivamente.
- e) El Sistema de tratamiento constara de: un área de cribado, tanque de recepción, floculación mecánica con el coagulante EXRO 614 y el floculante EXRO 663, lecho de secado, y tanque de almacenamiento del agua tratada.
- e) Tanto el esmalte como el engobe elaborados con el agua residual tratada, no presentaron ningún defecto tanto en la aplicación del biscocho crudo (aplicación en vela), teniendo las mismas condiciones de viscosidad y densidad que los productos elaborados con el agua normal; en el producto terminado, las placas pasaron por los controles de calidad según la Norma NTE INEN-ISO 13006 BALDOSAS CERÁMICAS-DEFINICIONES, CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y ROTULADO, que fueron: el análisis de aspecto superficial, resistencia a la abrasión, determinación de la resistencia química, y resistencias a las manchas.

RECOMENDACIONES

- a) Implementar el sistema de tratamiento del agua residual para reutilizarla en el proceso de preparación de esmaltes y recuperar los sólidos de esmaltes.
- b) Realizar el mantenimiento periódico del sistema de tratamiento, para evitar el depósito de sólidos en el tanque de recepción del agua residual, y el depósito de fangos en el floculador.
- c) El almacenamiento del coagulante y floculante utilizados, se debe realizar en lugares secos y recipientes seguros para evitar su contaminación.
- d) Durante la preparación del coagulante y floculante para el tratamiento, deben realizarse al momento de su utilización, ya que, si se prepara con anterioridad, no tienen el mismo efecto en la formación de los flóculos del sedimento.
- e) Experimentar con el agua residual tratada para la producción de barbotina, ya que en el área de molienda y atomización se consume gran cantidad de agua.

GLOSARIO

Agua residual: son todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial. (Consolidada, 1995)

Cerámica: El término "cerámica" proviene de la palabra griega "Kerameicos", que significa "de barro". Los productos cerámicos son artículos hechos por el "hombre", que han sido primero moldeados o modelados usando un amplio número de minerales y rocas, y luego permanentemente endurecidos por el calor. (Materias primas para la industria cerámica, 2006).

Esmaltado y decorado: El esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas de vidriado (engobe y esmalte) con un peso comprendido entre 0,636 – 1,00 kg/m², que cubre la superficie de la pieza, además dependiendo del producto que se vaya a elaborar se le adiciona el diseño con tintas serigráficas por medio de pantallas (Digital decoration for ceramic tiles: The effect of glazes particle size distribution on the inkjet decoration, 2019)

Caudal de diseño: El caudal de diseño, es la estimación máxima de caudal en función del periodo de funcionamiento, periodos críticos de producción, mediante este se diseñarán las diferentes unidades del sistema de tratamiento, equipos, dispositivos. (INEN, 2003)

Cribado o desbaste: Es una rejilla con aberturas, eficaz en la retención de sólidos gruesos, medianos que pueden afectar a las instalaciones y estructuras del sistema de tratamiento. Los elementos más utilizados para su construcción son barras, alambres, varillas paralelas, telas metálicas, la forma de sus aperturas son variables, aunque la más común son las rectangulares. Las rejillas son las más recomendables para protección de equipo de bombeos, válvulas, tuberías, debido a obstrucciones por telas, plásticos, además de su bajo costo y su operación manual, se pueden clasificar en rejas gruesas, medias o finas. (Metcalf & Eddy, 1995)

Fritas: Una frita cerámica es una mezcla de sustancias químicas inorgánicas obtenida por enfriamiento rápido de un fundido, que es una combinación compleja de materiales, convirtiendo las sustancias químicas así elaboradas en compuestos vítreos insolubles que se presentan en forma de escamas o gránulos (Asociación nacional de fabricantes de fritas, 2021).

BIBLIOGRAFÍA

- Alberro, D. D. (2015). *Composicion de pigmentos cerámicos*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/lospigmentosceramicosii/>
- Asociación nacional de fabricantes de fritas. (2021). *ANFFECC*. Obtenido de <https://www.anffecc.com/es/fritas#:~:text=%C2%BFDe%20qu%C3%A9%20est%C3%A1n%20compuestas%20las,mayor%C3%ADa%20de%20los%20elementos%20qu%C3%ADmicos>.
- Cabrera, M., Montíns, V., Foó, A., & Balfagón, P. (2006). Obtención de esmaltes de aspecto metálico en baldosas fabricadas por monococción.
- Cerámicos, A. E. (2004). *Tecnología cerámica aplicada*. Castellón: Faenza Editrice Ibérica.
- Consolidada, B. L. (30 de diciembre de 1995). *BOE*.
- ENRIQUE, J. E., MONFORT, E., BUSANI, G., & MALLOL, G. (2000). Reciclado de aguas residuales en la fabricación de baldosas cerámicas.
- Flores Nolasco, F. I. (2000). *Eprints.uanl*. Obtenido de Minimización de los residuos de esmalte en una planta de productos cerámicos a través del reciclado del agua residual: http://eprints.uanl.mx/4617/2/1080089079_02.pdf
- INEN. (2003). *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C.* . Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf
- J.E, E., E, M., G, B., & G, M. (2000). Reciclado de aguas residuales en la fabricación. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 149,150. Obtenido de <http://boletines.secv.es/upload/20090507112706.200039149.pdf>
- MARTINS, S., ARAÚJO DE ALMEIDA, B., ALMEIDA, M., MACARICO, V. A., & DA FONSECA, A. T. (2016). Recycling liquid effluents in a ceramic industry. *55*(3), 96. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.bsece.2016.04.004>
- Materon, H. (1997). *Obras hidráulicas rurales* (6ta edición ed.). Cali-Colombia.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización*. España.
- Morales Güeto, J. (2005). *Tecnología de los materiales Cerámicos*. Madrid.
- NESI, G., & BERNARDIN, A. M. (2007). *BALDOSAS CERÁMICAS DE MUY BAJA DENSIDAD DESARROLLADAS MEDIANTE EL RECICLADO DE RESIDUOS DE ESMALTES*. Obtenido de <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/71%20PON%20ESP.pdf>
- (NIOSH), I. N. (Septiembre de 2017). *Guía de bolsillo de NIOSH sobre riesgos químicos*.
- Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes. (2015). Obtenido de <http://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>
- Peña Álvarez, A., & Castillo Alanís, A. (6 de mayo de 2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18, 30. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.003>

Rodríguez Gonzáles, M. R., Molina, B. J., Jácome, B. A., & Suáres, L. J. (16 de marzo de 2015). Subsurface Vertical Flow Constructed Wetland for Tertiary Treatment of Effluent of Physical-Chemical Process of a Domestic Wastewater Treatment Plant. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72238-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72238-8)

Romero, J. (1999). *Purificación del Agua* (Tercera Edición ed.). Bogotá-Colombia.

UNATSABAR. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf

Vilanova, R., Santín, I., & Pedret, C. (13 de octubre de 2017). Control en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales: Estado actual y perspectivas. Control y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales: desafíos y estado del arte. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.09.001>

ANEXOS

Anexo A. Resultados de los análisis físico-químicos de agua cruda y agua residual.



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS – ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

ANÁLISIS SOLICITADO POR: Ing. Vanessa Antonieta Figueroa Trujillo
UBICACIÓN: Planta de Elaboración de esmaltes EMPRESA ECUACERAMICA S.A. Cantón Riobamba
TIPO DE MUESTRAS: Agua residuales de la planta de elaboración de esmaltes
FECHA: 14 DE MARZO DEL 2022

TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA MAESTRÍA DE INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA

TEMA DE TESIS: *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS PROVENIENTES DEL ÁREA DE ESMALTADO DE LA PLANTA DE PISOS DE LA EMPRESA ECUACERÁMICA PARA SU REUTILIZACIÓN EN EL PROCESO.*

Parámetros	Unidades	M1 (Agua de ingreso)	M2 (Residual Cruda)
Turbiedad	NTU	0,20	55 650
Conductividad Eléctrica	μS/cm	895,6	1 299
TDS	mg/L	542,8	790,7
pH	-	7,74	8,94
Sólidos suspendidos	mg/L	4	10 325
Sólidos sedimentables	mL/L	--	380
Cl ⁻	mg/L	17,0	709.0
SO ₄ ⁻²	mg/L	330	115 000
F ⁻	mg/L	1,22	73.00
DQO	mg/L	5,5	1 528
Ca ⁺²	mg/L	88.0	480.0
Mg ⁺²	mg/L	39,85	1 263,60
Al ⁺³	mg/L	< 0.01	5,32
Fe	mg/L	0,12	80,50
Zn ⁺²	mg/L	0,12	21,5
Pb	mg/L	0,054	1,200
SiO ₂	mg/L	48,5	90

Anexo B. Resultados de los análisis físico-químicos del agua tratada



ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Resultados de análisis de: AGUAS TRATADAS

Parámetros	Unidades	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 11	PRUEBA 13
		Coagulante: 4200 ppm Floculante: 0,8 ppm	Coagulante: 4800 ppm Floculante: 0,8 ppm	Coagulante: 4800 ppm Floculante: 1,12 ppm	Coagulante: 4860 ppm Floculante: 1,28 ppm
Turbiedad	NTU	9,7	1,15	1,68	0,69
Sólidos suspendidos	mg/L	2	<1	<1	<1
Sólidos sedimentables	mg/L	--	--	--	--
Cl ⁻	mg/L	70,19	41,12	73,02	65,93
SO ₄ ⁻²	mg/L	570	455	190	155
DQO	mg/L	180	36	70	56
Ca ⁺²	mg/L	113,6	96,0	185,6	179,2
Mg ⁺²	mg/L	28,18	14,58	26,24	15,55
Conductividad Eléctrica	mS/cm	3,01	1,92	2,63	2,51
TDS	mg/L	1,84	1,17	1,58	1,52
pH	-	7,87	7,16	7,57	7,51
Residuo sólido seco	g	3,30	1,97	6,76	6,98

RESPONSABLE

GINA
 ELIZABETH
 ALVAREZ
 REYES

Dra. Gina Álvarez R.
 RESPONSABLE LAB. CALIDAD DEL AGUA

ANALISTA

Ing. Vanessa Figueroa
 TESISISTA

Anexo C. Toma de muestras.

Figura 3. Cisterna que no se utiliza



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 4. Toma de muestra M2



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 5. Extracción del agua del pozo



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 6. Toma de muestra M1



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Anexo D. Área de preparación de esmaltes.

Figura 7. Molino Alsing capacidad 60 kg



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 8. Molino Alsing capacidad 3000 kg



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 9. Molino Alsing capacidad 1500-3000 kg



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Anexo E. Tratamiento de agua residual

Figura 10. Envases cónicos.



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 11. Ensayo 1



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 12. Ensayo 2



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 13. Ensayo 3



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

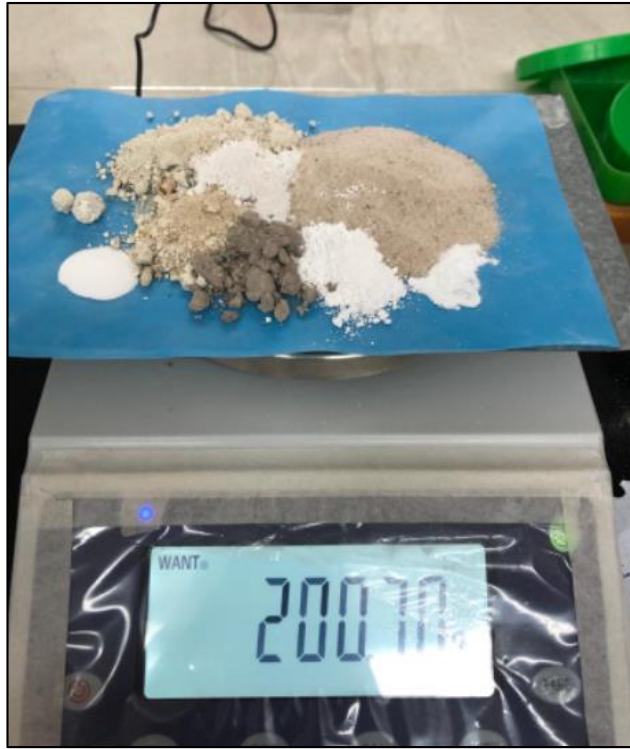
Figura 14. Ensayo 4



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Anexo F. Cargas de esmalte con agua clarificada.

Figura 15. Materia prima para pruebas de laboratorio



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 16. Esmaltes y engobes para trazos



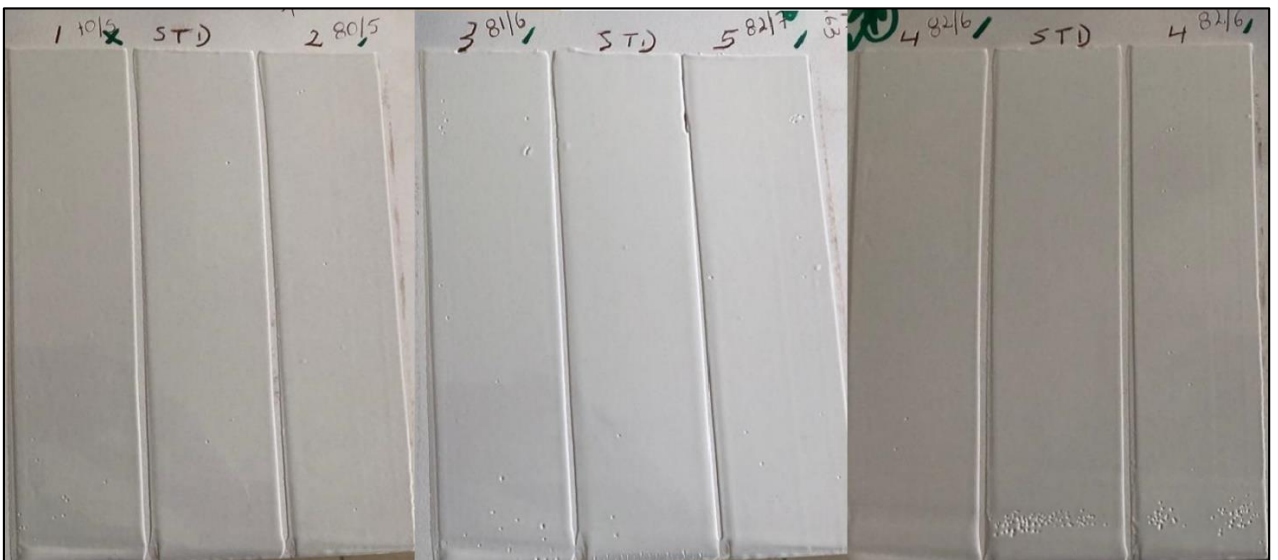
Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 16. Trazos de EM-186



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 17. Trazos de M-09194



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Anexo G. Validación del tratamiento. Prueba Industrial

Figura 18. Recipiente con agua residual



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 19. Dosificación del coagulante



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 20. Dosificación del floculante



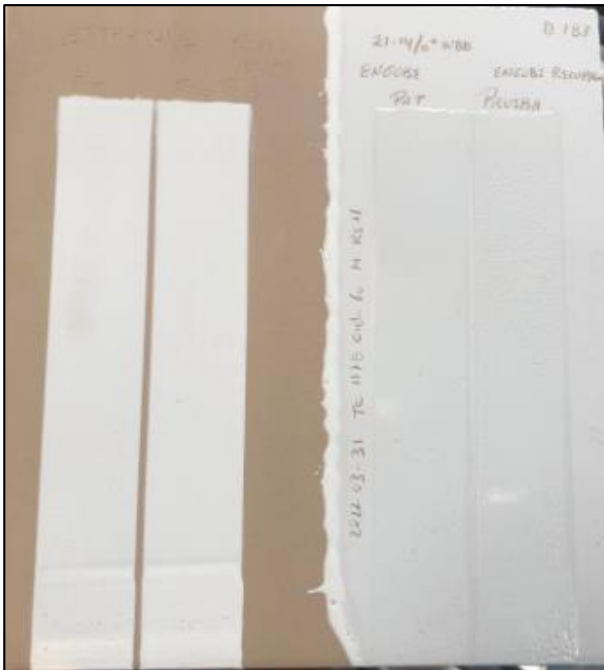
Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 21. Agua residual clarificada



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 22. Trazo de engobe y esmalte



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 23. Aplicación en la vela



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 24. Aplicación en la vela



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

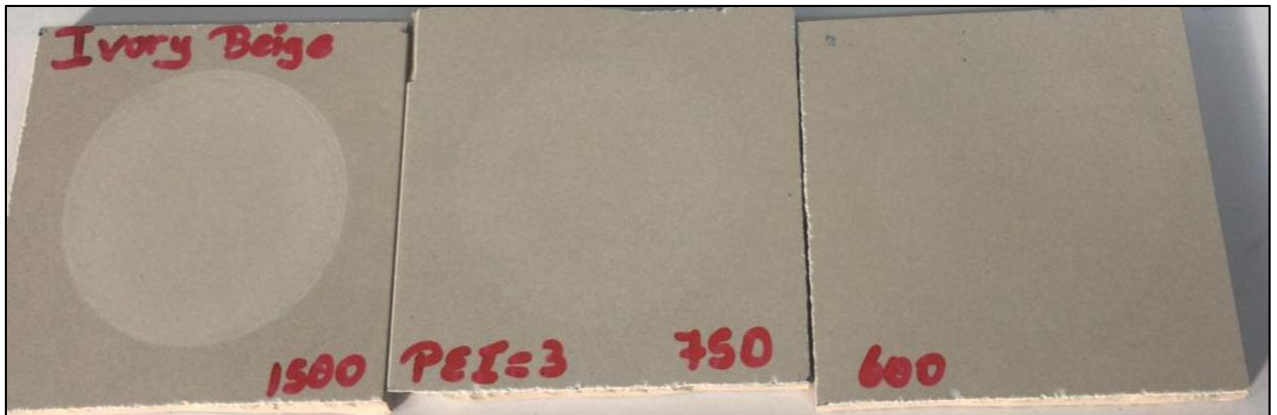
Figura 25. Pieza de porcelanato esmaltada



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Anexo H. Análisis en producto terminado

Figura 26. Resistencia a la abrasión



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 27. Resistencia a la mancha y agentes químicos



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022



EXRO 614 Clarificación

COAGULANTE CATIONICO

DESCRIPCION GENERAL

PRODUCTO: POLICLORURO DE ALUMINIO.

SINÓNIMO: Polihidroxiclورو de aluminio.

FORMULA: $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}.H_2O$

APARIENCIA: Líquido de color amarillento, olor característico, soluble totalmente en agua.

APLICACIONES:

EXRO 614 es un coagulante cationico primario, utilizado como floculante en el tratamiento de aguas potables y en el tratamiento de efluentes municipales e industriales hasta una concentración de 100 ppm.

EXRO 614 es especialmente efectivo en clarificación de aguas de baja turbidez y alta coloración.

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Contenido óxido de aluminio (Al_2O_3), %: 17 +/- 1.5

Contenido de Aluminio (Al_2), %: 9.0 +/- 0.8

Basicidad, %: 30 +/- 10

Densidad a 20°C, Kg/l: 1.365 +/- 0.015

pH a 20° C: 0.3 +/- 0.2

Turbiedad (NTU): < 50

Punto de Cristalización, 1.38Kg/l: 0° C

MANEJO Y APLICACIÓN

EXRO 614 debe ser aplicado al sistema en zonas de alta turbulencia por medio de bombas de desplazamiento positivo que sean resistentes a la corrosión.

EXRO 614 debe dosificarse de acuerdo con la especificación de las aguas a ser tratadas. Para aguas potables se recomienda una dosis de 20 ppm.

EXRO 614 trabaja sobre un rango de pH bastante amplio. Forma lodos muy compactos y biodegradables.

PRECAUCIONES

EXRO 614 puede producir irritación en los ojos y con menor intensidad en la piel por lo cual se recomienda su manejo con prendas de protección. En caso de contacto, lave abundantemente con agua y jabón la parte afectada y busque atención médica. Las prendas contaminadas deberán ser lavadas antes de ser reutilizadas. Mantenga el tambor bien cerrado cuando no esté en uso. Para mayor información, ver hoja de seguridad.

EMPAQUE Y EMBARQUE

Suministro al granel en camión o sistema de acero revestido con pintura epóxica o en tanques de polipropileno, polietileno, PVC o fibra de vidrio.

Este producto es corrosivo con los metales.

Se recomienda limpieza en los depósitos de almacenamiento.





Miscible en agua en cualquier proporción.
En clima frío en caso de cristalización, se recomienda calentar y agitar los cristales a una temperatura de 50 a 60 °C, volviendo el producto al estado líquido.

DURABILIDAD:

Se garantiza 5 meses bajo buenas condiciones de almacenaje (no expuesto a la intemperie) después de la fecha de elaboración.

VENTAJAS CON RELACIÓN AL SULFATO DE ALUMINIO:

Mayor potencia de coagulación.

Mayor velocidad de coagulación y floculación.

Menor gasto de coagulantes (especialmente en altas turbiedades)

Menor consumo de álcalis.

Efectivo en un amplio rango de PH.

Remoción de color.

La información contenida en este documento está basada en nuestro mejor conocimiento, resultado de nuestro estudio y experiencia. Esta dada de buena fe y no puede en ningún caso constituir una garantía de nuestra parte, ni supone un compromiso de responsabilidad incluso en el caso de perjuicio a los derechos de propiedad a terceros.

Para mayor información contactar a nuestro Departamento de Ventas

NOTA: Los datos contenidos en boletín tienen por objeto orientar y dar servicio. Sin embargo y debido a sus múltiples usos la garantía de nuestro producto está sujeta al manejo posterior por parte de los usuarios.

Fecha Act.: Jul/13.

PBX: 02-2986454 – Quito - Ecuador
www.exro.co



Certificado N° SC 188-1



EXRO 663 MA Clarificación

FLOCULANTE – ACONDICIONADOR DE LODOS

DESCRIPCION GENERAL

EXRO 663MA es una poliacrilamida de ultra alto peso molecular de carácter aniónico, utilizado eficientemente en los procesos de espesamiento y deshidratación de lodos, aguas residuales, aplicación en campos petroleros y como floculante en clarificación para aguas potables, en especial cuando el floc está expuesto a alto rompimiento.

EXRO 663MA presenta una excelente retención coloidal y máxima fortaleza del floc. Tiene aplicación en efluentes de las industrias avícolas, pulpa de papel, imprentas, mineras, etc.

PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

Caráct. Iónico	Aniónico Medio
Peso Molecular	Ultra alto
Apariencia	Sólido granular
pH (sol. 0.5%)	4 – 9
Color	Blanco
Viscosidad Min. Sol 0.1%,	130cps

MANEJO Y APLICACIÓN

EXRO 663MA tiene una vida útil de 2 años en la presentación original mientras se conserve seco; dos (2) semanas para la solución madre al 0.5% y de 3 días para la solución al 0.1% de aplicación.

EXRO 663MA es usado en soluciones diluidas (0.05 a 0.1%). Para la preparación de éstas, el producto original es adicionado al agua con agitación uniforme. Después de un tiempo de preparación de aproximadamente 60 minutos a temperatura ambiente, la solución se debe dejar reposar por 30 minutos, antes de ser utilizada.

Debe ser almacenado en lugares frescos. El saco se debe mantener bien cerrado cuando no se encuentre en uso.

PRECAUCIONES

EXRO 663MA debe ser manejado con prendas de protección. En caso de contacto con los ojos lave, abundantemente con agua y busque atención médica. No establezca contacto prolongado los productos. Las prendas contaminadas deben ser lavadas antes de ser reutilizadas. No ingiera. En combinación con el agua o humedad, forma un residuo muy resbaloso.

PRESENTACION

EXRO 663MA se distribuye en sacos de 25 kilos.

Fecha Act.: Abr04.
CLE



Anexo K. Resultados del Diseño del Sistema de tratamiento de aguas residuales del área de preparación de esmaltes.

CAUDAL DE DISEÑO

	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen diario	V_d	7,2	m^3
Caudal	Q	0,00393	m^3/s
Caudal de diseño	Q_d	0,00550	m^3/s

ÁREA DE CRIBADO

	Símbolo	Valor	Unidades
Caudal máximo	Q_{max}	0,0066	m^3/s
Ancho del canal	B	0,6000	m
Angulo de inclinación de la rejilla	α	45	$^{\circ}$
Espaciamiento entre barras	b	0,0250	m
Espesor de la barra	w_b	0,0100	m
Eficiencia de la barra	E	71,400	%
Suma de separación entre barrotes	b_g	0,2200	m
Área entre espacios	A_e	0,0550	m^2
Velocidad del agua entre los espacios de la rejilla	v_e	0,10	m/s
Número de barras	N	9	-
Pérdidas de carga en rejas parcialmente sucias.	h_L	0,0004	m
Ajuste del ancho de la rejilla	b_f	0,3000	m
Cálculo de la longitud total del canal.	L_t	1,0400	m

TANQUE DE RECEPCIÓN DEL AGUA RESIDUAL.

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen del tanque	V_t	10,0	m^3
Altura del tanque	H_t	3,0	m
Área del tanque	A_t	3,3	m
Ancho del tanque	B_t	1,5	m
Longitud del tanque	L	2,22	m
Pendiente de inclinación	I	0,10	m

FLOCULADOR MECÁNICO (AGITADOR PALETA)

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Gradiente	G	50,00	s-
Tiempo	t	20,00	min
Volumen del floculador	V	8,500	m^3
Potencia de la mezcla	P	25,00	W
Área del floculador	A	5,700	m^2
Longitud de las paletas	L_p	0,700	m
Ancho de las paletas	B_p	0,400	m
Radio de giro de las paletas	r_p	1,200	m
Área de las paletas en movimiento	Q_p	0,7280	m^2
Velocidad diferencial	v	0,3940	m/s
Velocidad de las paletas	v_p	0,5300	m/s
Velocidad de rotación	N	5,00	RPM
Número adimensional de camp	G_t	60000	-

LECHO DE SECADO

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen de fangos	V_{fd}	0,7580	m^3
Volumen del lecho de secado	V_{ef}	1,516	m^3
Área del lecho de secado	A_{ls}	3,79	m^2
Altura del lecho de secado	H_{ls}	0,4	m
Ancho del lecho de secado	B_{ls}	2	m
Longitud del lecho de secado	L	2	m

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA TRATADA

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidades
Volumen del tanque de almacenamiento	V_t	8,0	m^3
Área del tanque de almacenamiento.	A_t	3,0	m^2
Altura del tanque de almacenamiento	H_t	2,66	m
Ancho del tanque de almacenamiento	B_t	2,0	m
Longitud del tanque de almacenamiento	L	1,5	m

DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS

Químico	Unidad	Cantidad
EXRO 614	Kg/día	40,8
EXRO 663	g/día	9,52

Anexo L. Análisis de costos

COSTOS DE LOS ACCESORIOS.

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Codos de 90°	10	5,23	52,30
Válvulas de compuerta	8	200	1600,00
Adaptador h	18	1,21	21,78
Tuberías	25	12,00	300
Total (usd)			1974,08

COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Motoreductor angular 1 hp 25 - 60 rpm mono/trifásico	1	630	630
Motor eléctrico monofásico 2hp 1750 rpm motor abierto weg	1	236	236
Bomba centrífuga 2 hp 300 l/min belarra bc-620	1	120	120
Bomba de tornillo helicoidal aobal rv	2	1200	2400
Total (usd)			3386

COSTO DE MANO DE OBRA Y CONSTRUCCIÓN EN HORMIGON.

Elemento	Factor materiales (180.20 / m3)	Factor mano de obra	Factor servicios	Costo
Canal de entrada	30	35	20	85,0
Área de cribado	120	120	50	290,0
Tanque del agua a tratar	1802	680	150	2632,0
Lecho de secado	270,3	190	60	520,0
Tanque de almacenamiento	1351,5	372	100	1823,5
			Total (usd)	5350,50

COSTO DE MANO DE OBRA Y CONSTRUCCIÓN DEL FLOCULADOR MECÁNICO.

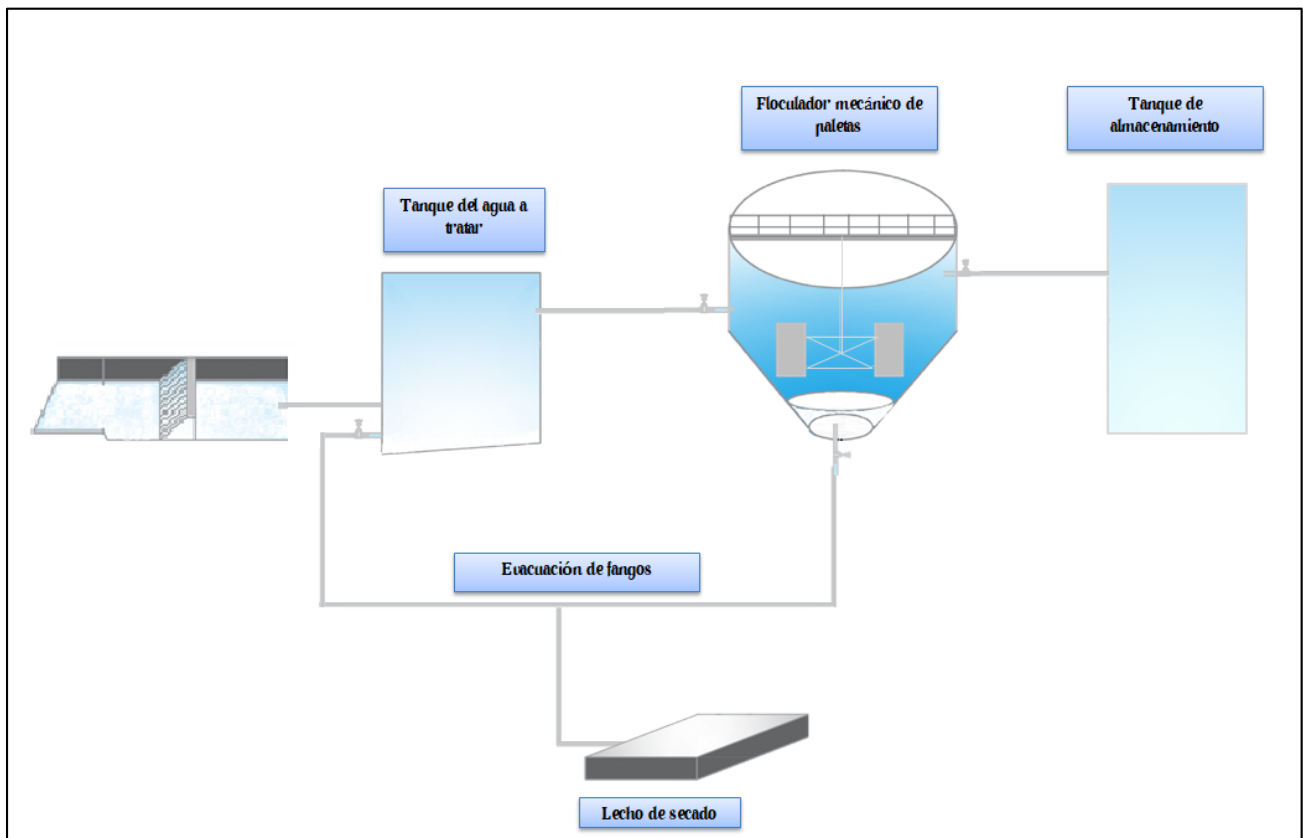
Elemento	Factor materiales	Factor mano de obra	Factor servicios	Costo
Cuerpo del cilindro	1500	800	920	3220,00
Pasarela	843,76	595,85	500	1939,61
Agitador mecánico	288,27	172,97	181,90	643,14
Estructura del cilindro	2214	1328,98	1400	4942,98
Soporte del motor de transmisión	563,02	337,81	225,21	1126,04
Accesos a los fangos	200,0	120,0	80,0	400,00
			Total (usd)	12271,77

COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Descripción	Valor (usd)
Costo de accesorios	1 974,08
Costo de elementos normalizados	3 386
Costos de construcción y mano de obra en hormigón.	5 350,5
Costos de construcción y mano de obra del floculador mecánico.	12 271,77
Total (usd)	22 982,35

Anexo M. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento del agua residual.

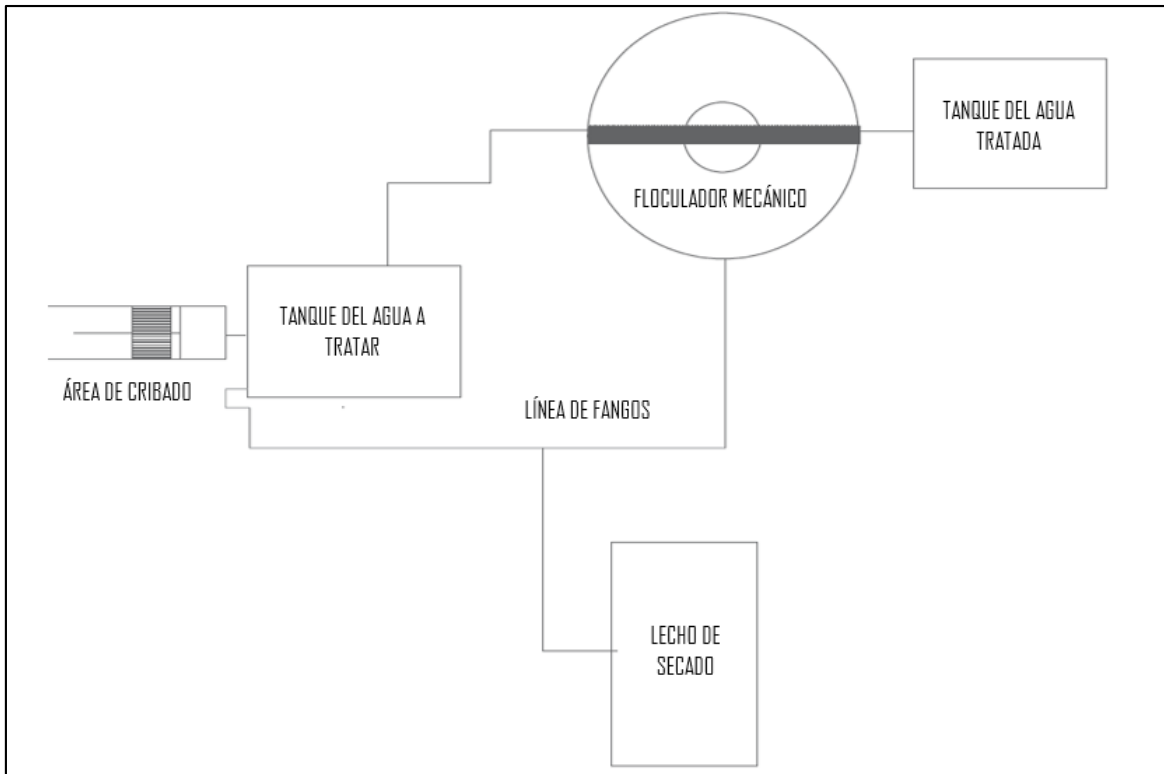
Figura 28. Sistema de tratamiento del agua residual



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

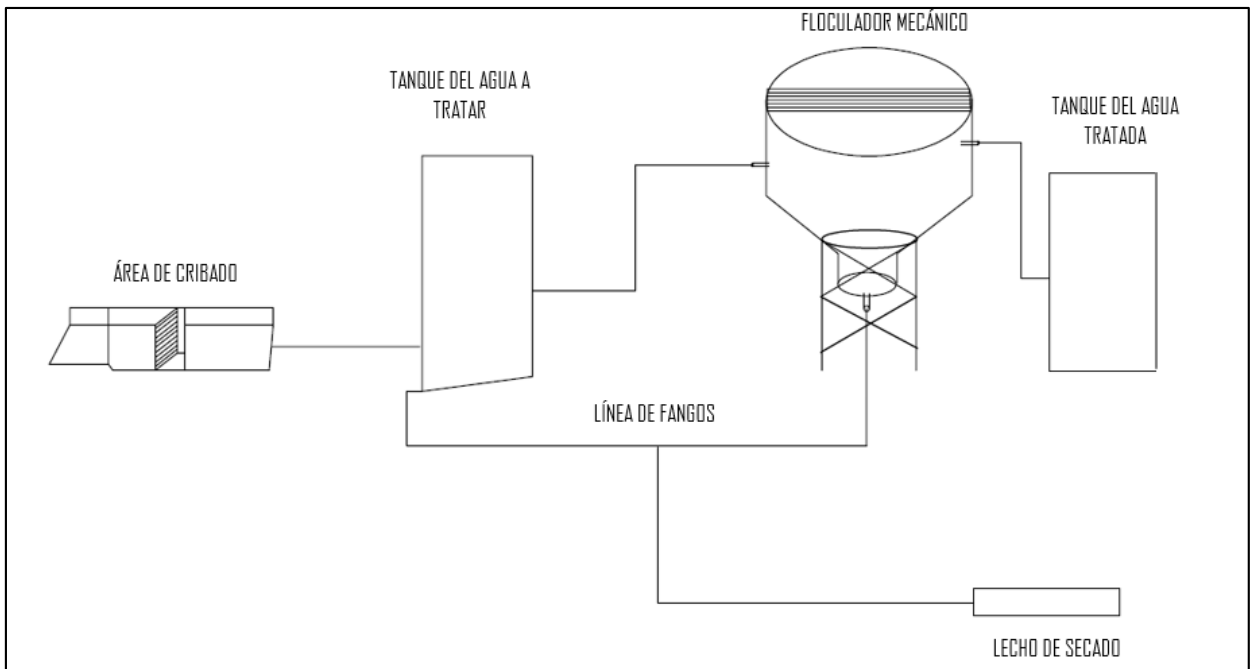
Anexo N. Vista superior y lateral del sistema de tratamiento del agua residual

Figura 29. Vista superior del sistema de tratamiento



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022

Figura 30. Vista lateral del sistema de tratamiento



Realizado por: Figueroa Trujillo, Vanessa. 2022



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16 / 11 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Vanessa Antonieta Figueroa Trujillo</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
<i>Instituto de Posgrado y Educación Continua</i>
Título a optar: <i>Magíster en Ingeniería Química Aplicada</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**



0149-DBRA-UTP-IPEC-2022