



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA DE TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN EFLUENTES METALÚRGICOS”

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero Industrial

Autor:

Bach. Ericka Giovanna Vargas Guevara

Asesor:

Mg. Ing. Ulises Piscoya Silva

Lima – Perú
2018

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de suficiencia profesional desarrollado por la Bachiller **Ericka Giovanna Vargas Guevara**, denominada:

“EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA DE TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN EFLUENTES METALÚRGICOS”

Ing. Ulises Piscoya Silva
ASESOR

Ing. José Lira Guzmán
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Teodoro Riega Zapata
JURADO

Ing. Johnny David Arrustico Loyola
JURADO

DEDICATORIA

*Para mi amado esposo Yuri Bermudez y para mi
bendición más grande, mi hijo Matías Joaquín.*

AGRADECIMIENTO

A mi esposo, por su apoyo incondicional, a mis padres por su empuje para cada día seguir superándome, y a todas las personas que hicieron de esta tesis lo mejor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Realidad Problemática	15
1.3. Formulación del Problema	15
1.3.1. <i>Problema General</i>	15
1.3.2. <i>Problema Específico</i>	15
1.3.2.1. <i>Problema específico 01</i>	15
1.3.2.2. <i>Problema específico 02</i>	15
1.3.2.3. <i>Problema específico 03</i>	15
1.3.2.4. <i>Problema específico 04</i>	15
1.4. Justificación.....	16
1.4.1. <i>Justificación Teórica</i>	16
1.4.2. <i>Justificación Práctica</i>	16
1.4.3. <i>Justificación Cuantitativa</i>	16
1.4.4. <i>Justificación Académica</i>	17
1.5. Objetivos	17
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	17
1.5.2. <i>Objetivo Específico</i>	17
1.5.2.1. <i>Objetivo específico 1</i>	17
1.5.2.2. <i>Objetivo específico 2</i>	17
1.5.2.3. <i>Objetivo específico 3</i>	17
1.5.2.4. <i>Objetivo específico 4</i>	18

CAPÍTULO 2.	MARCO TEÓRICO	19
2.1.	Evaluación Económica Financiera	19
2.2.	Remoción de Sulfatos	24
2.3.	Tecnologías para la Remoción de Sulfatos	27
2.4.	Definición de términos básicos	28
CAPÍTULO 3.	DESARROLLO	31
3.1.	Proceso de Intercambio Iónico (Sulf-IX)	31
3.2.	Proceso Etringita	38
3.3.	Proceso Ultrafiltración	41
3.4.	Comparación de las tres Tecnologías para Remoción de Sulfatos	43
CAPÍTULO 4.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	45
4.1.	Resultados	45
4.1.1	Proceso de Intercambio Iónico (Sulf-IX)	45
4.1.2	Proceso Etringita	48
4.1.3	Proceso Ultrafiltración	50
4.1.4	Resumen de las tres Tecnologías	52
4.2	Conclusiones	55
4.3	Recomendaciones	56
ANEXOS		59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Ubicación Geográfica de la Refinería.....	11
Figura N° 2. Diagrama de Distribución de la Planta	11
Figura N° 3: Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de efluentes.....	12
Figura N° 4. Diagrama de las etapas de pH 7 y pH9 de la planta tratamiento de efluentes.....	13
Figura N° 5. Diagrama de la etapa ósmosis reversa exterior.....	14
Figura N° 6. Interior de la ósmosis reversa.....	14
Figura N° 7. Contenedor conteniendo la planta piloto Sulf-IX.....	31
Figura N° 8. Diagrama de bloques del proceso Sulf-IX.....	31
Figura N° 9. Esquema de distribución del proceso Sulf-IX.....	32
Figura N° 10. Interior de la Planta Piloto Sulf-IX.....	32
Figura N° 11 Diagrama de bloques del circuito catiónico de la planta piloto Sulf-IX.....	33
Figura N° 12. Diagrama de bloques del circuito aniónico de la planta piloto Sulf-IX.....	33
Figura N° 13. Curva de la cinética completa del ciclo catiónico del proceso Sulf-IX.....	37
Figura N° 14. Curva de la cinética completa del ciclo aniónico del proceso Sulf-IX.....	38
Figura N° 15. Instalación para la prueba a nivel piloto del proceso etringita.....	40
Figura N° 16. Concentración de sulfatos en las pruebas a nivel piloto del proceso etringita.....	41
Figura N° 17. Diagrama de la prueba a nivel piloto del proceso ultrafiltración.....	42
Figura N° 18. Esquema de trabajo de la prueba a nivel piloto del proceso ultrafiltración.....	42
Figura N° 19. Concentración de sulfatos en las pruebas a nivel piloto del proceso ultrafiltración....	43
Figura N° 20: Comparación costos CAPEX y OPEX de cada tecnología.....	52
Figura N° 21: Costo evitado del consumo de agua.....	53
Figura N° 22: Costo evitado de reactivos e insumos en OR.....	53
Figura N° 23: Valor Actual Neto (VAN).....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Comparación de las Tres Tecnologías para la remoción de sulfatos.....	44
Tabla N° 2 Costos CAPEX proceso intercambio iónico.....	45
Tabla N° 3 Costos OPEX proceso intercambio iónico.....	46
Tabla N° 4 Costo evitado del consumo de agua con el proceso de intercambio iónico.....	46
Tabla N° 5 Costo evitado del consumo de insumos en OR.....	47
Tabla N° 6 Flujo de caja proyectado tecnología Intercambio Iónico.....	47
Tabla N° 7 Costos CAPEX proceso etringita.....	48
Tabla N° 8 Costos OPEX proceso etringita.....	48
Tabla N° 9 Costo evitado del consumo de agua con el proceso etringita.....	49
Tabla N° 10 Costo evitado del consumo de insumos en OR.....	49
Tabla N° 11 Flujo de caja proyectado tecnología Etringita.....	50
Tabla N° 12 Costos CAPEX proceso ultrafiltración.....	50
Tabla N° 13 Costos OPEX proceso ultrafiltración.....	50
Tabla N° 14 Costo evitado del consumo de agua con el proceso ultrafiltración.....	51
Tabla N° 15 Costo evitado del consumo de insumos en OR.....	51
Tabla N° 16 Flujo de caja proyectado tecnología Ultrafiltración.....	52
Tabla N° 17 Resumen de las tecnologías de remoción de sulfatos.....	52

RESUMEN

La refinería de zinc ubicada en Lima, genera efluentes metalúrgicos producto de los procesos para la obtención del zinc, los efluentes metalúrgicos tienen alto contenido de sulfato de calcio, lo cual impiden que el actual proceso de ósmosis reversa (OR) trabaje con todos los efluentes generados en el over Flow de la planta de pH9, los cuales al no poder ser procesados en su totalidad en la planta de OR son vertidos a la alcantarilla para luego descargarse en la poza de regantes y usarse para riego de la zona agrícola.

Se han realizado pruebas a nivel piloto de tres alternativas tecnológicas que son: intercambio iónico, precipitación de etringita y ultrafiltración para que el efluente generado en la planta de pH9, el cual tiene una concentración de sulfatos de aproximadamente entre 1200 y 1800 mg/L, tenga bajo contenido de los mismos (menor a 300mg/L) y sea procesado sin problemas en la planta de ósmosis reversa (OR) y con ello no verter efluentes, sino recircularlos al procesos; y conseguir efluente cero.

Se requiere realizar una evaluación económica financiera de las tres tecnologías de remoción de sulfatos, que definirá cuál es la alternativa más conveniente.