



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

INDUSTRIAL

**EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN CON SULFATO
FÉRRICO EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA DE RÍO
RÍMAC, ARIS INDUSTRIAL SA, LIMA-2014**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR

FRANCISCO AGUIRRE CRUZ

LINEA DE INVESTIGACIÓN

SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

LIMA – PERÚ

2015

“La ciencia...no tiene que ver con los secretos de la naturaleza, ni siquiera con las verdades, es simplemente, el método que utilizamos para postular una serie mínima de hipótesis que puedan explicar, mediante una derivación directa y lógica, la existencia de muchos fenómenos de la naturaleza”

Eliyahu M. Goldratt (2,007).

DEDICATORIA:

A mi esposa Dina y a mis hijos:
Madeline, Luis y Jhonatan, por el
aliento y apoyo moral en el estudio
mostrado.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a los profesores mgtr. Guido René Suca, Ing. Fredy Gómez e Ing. Óscar Becerra; por brindarme información y asesorarme en algunos puntos que fueron fundamentales en la ejecución de la presente tesis.

Asimismo, agradezco a los docentes que en el transcurso de la carrera nos inculcaron sus conocimientos acerca de la carrera, por la asesoría y experiencia en el rubro de la ingeniería y la industria.

FRANCISCO AGUIRRE CRUZ

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, FRANCISCO AGUIRRE CRUZ, con DNI N° 25482043, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 10 de Diciembre del 2015

FRANCISCO AGUIRRE CRUZ

PRESENTACION

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada **”EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN CON SULFATO FÉRRICO EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA DE RÍO RÍMAC, ARIS INDUSTRIAL SA, LIMA-2014”**, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Industrial.

La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto que tiene el proceso de la coagulación con el sulfato férrico en la remoción del arsénico del agua del río Rímac, cuyos resultados aplicados en Sedapal, nos satisface en lograr el mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano, la cual consta de seis capítulos. El capítulo I, plantea una introducción describiendo la realidad problemática, antecedentes, justificaciones y las teorías relacionadas al tema; el capítulo II, corresponde al marco metodológico, la presentación de variables y la operacionalización, asimismo, se indica las metodologías, tipo de estudio, diseño de la investigación, población, muestra y muestreo. En el capítulo III, se indican los resultados de la investigación aplicando las estadísticas correspondientes. En nuestro caso se empleó principalmente el análisis de varianza por ser una investigación experimental. En el capítulo IV, se plantea las discusiones comparando los resultados previos de los antecedentes y los obtenidos en el estudio, confirmando que el sulfato férrico remueve hasta el 97% el arsénico presente en el agua del río Rímac. En el capítulo V se indican cuatro conclusiones muy importantes de los resultados obtenidos y en el capítulo VI, se indican las recomendaciones para las distintas instituciones y a la comunidad de investigadores para confirmar y ahondar en la investigación presentada.

FRANCISCO AGUIRRE CRUZ

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	16
1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	19
1.3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
1.4. JUSTIFICACIÓN	23
1.5. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA	26
1.5.1 Mapa Mental del Marco Teórico	26
1.5.2. Gestión de la Calidad y Mejora Continua	27
1.5.3. Gestión de Procesos y Enfoque Sistémico	30
1.5.4. Calidad y Mejoramiento de la Calidad	32
1.5.5. Calidad del Agua para Consumo Humano	36
1.5.6. Efectos de Contaminantes Químicos del Agua sobre la Salud	37
1.5.7. El Agua y sus Características	38
1.5.8. El Sistema del Tratamiento del Agua	41
1.5.9. Coagulación en el Tratamiento del Agua	44
1.5.10. Coloide y Teoría de la Doble Capa	46
1.5.11. Potenciales de Coloide y Potencial Zeta	48
1.5.12. Factores de Estabilización de Coloides	49
1.5.13. Definición de Coagulación y Floculación	52
1.5.14. Etapas de la Coagulación	53
1.5.15. Mecanismos Físico-Químicos de la Coagulación	55
1.5.16. Factores que Influyen en la Coagulación	59
1.5.17. Control de la Coagulación	64
1.5.18. Factores que Influyen en la Floculación	66
1.5.19. Los Sulfatos de Aluminio y Férrico como Coagulantes	68

1.5.20. El Arsénico y sus Propiedades	72
1.5.21. Toxicidad del Arsénico y su Relación con el Cáncer	73
1.5.22. El Arsénico y su Remoción del Agua	75
1.5.23. Métodos de Análisis del Arsénico en el Agua	76
1.6. PROBLEMA GENERAL Y PROBLEMAS ESPECÍFICOS	79
1.7. HIPÓTESIS GENERAL E HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	79
1.8. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	80
II. MARCO METODOLÓGICO	81
2.1. VARIABLES	82
2.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	83
2.3. METODOLOGÍA	84
2.4. TIPO DE ESTUDIO	84
2.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	84
2.6. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO	84
2.6.1. Unidad de Análisis	85
2.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	85
2.7.1. Método del Jar Test o Prueba de Jarras	85
2.7.2. Preparación de Muestras y Parámetros de Operación del Jar Test	88
2.7.3. Procedimiento del Método del Jar Test Cepis/Sedapal	89
2.7.4. Análisis de Resultados Experimentales	92
2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	98
2.9. ASPECTOS ÉTICOS	98
III. RESULTADOS	99
3.1. PARA LA HIPÓTESIS GENERAL	100
3.2. PARA LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1	102
3.3. PARA LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2	104
3.4. PARA LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3	107

IV. DISCUSIÓN	110
V. CONCLUSIONES	113
VI. RECOMENDACIONES	115
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
VIII. ANEXOS	125

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa Mental del marco Teórico	26
Figura 2. El Ciclo Deming de Mejora Continua	29
Figura 3. Sistema y Gestión de Procesos	32
Figura 4. Estructura Molecular del agua	39
Figura 5. Sistema de Tratamiento de Agua	42
Figura 6. Procesos de Remoción de Partículas según su Tamaño	45
Figura 7. Doble Capa de un Coloide	47
Figura 8. Estabilización de Coloides	51
Figura 9. Proceso de Coagulación	52
Figura 10. Esquema de las Etapas de la Coagulación	54
Figura 11. Coagulación por Compresión de Capa Difusa	55
Figura 12. Coagulación por Adsorción y Neutralización	57
Figura 13. Coagulación por Puente Químico	58
Figura 14. Coagulación por Barrido	59
Figura 15. pH y Punto Isoeléctrico del Sulfato de Aluminio	60
Figura 16. pH y Productos del Sulfato de Aluminio en el Agua	61
Figura 17. Rangos de pH para Sulfatos de Aluminio e Hierro	62
Figura 18. Acción del Coagulante en los Coloides	63
Figura 19. Turbidímetro y Medición de Turbidez	65
Figura 20. Principio de Nefelometría para Medir la Turbidez	66
Figura 21. Comparador de Tamaños de Floc del WRA	67
Figura 22. Hidrolización del Cation Aluminio	69
Figura 23. El Arsénico en la Tabla Periódica	73
Figura 24. Equipo del Jar Test	86
Figura 25. Etapas del Método del Jar Test	87
Figura 26. Ensayo Experimental con el Jar Test	90

Figura 27. Evaluación del Sulfato Férrico en Jar Test	91
Figura 28. Equipo de Análisis de Arsénico Merkquant	92
Figura 29. pH y Dosis de Sulfato de Aluminio y Férrico	93
Figura 30. Índice de Willcomb y Dosis de Coagulantes	93
Figura 31. Remoción de Turbidez de Coagulantes	94
Figura 32. Remoción de Arsénico con Sulfato de Aluminio y Férrico	97
Figura 33. Media de Arsénico con Sulfatos de Aluminio y Férrico	101
Figura 34. % de Remoción de Arsénico con Coagulantes	102
Figura 35. Coagulación Óptima con Sulfato de Férrico	104
Figura 36. Floculación Óptima con Sulfato Férrico	105
Figura 37. Dosis Óptima del Sulfato Férrico	108

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Límite Máximo Permisible del Arsénico	37
Tabla 2. Tamaño de Partículas en el Agua	45
Tabla 3. Índice de Flocculación de Willcomb	68
Tabla 4. Características del Sulfato de Aluminio en Solución	70
Tabla 5. Características del Sulfato Férrico en Solución	70
Tabla 6. Etapas de Reacción del Sulfato Férrico en Agua	72
Tabla 7. Operacionalización de Variables	83
Tabla 8. Parámetros de Operación del Jar Test	88
Tabla 9. Dosis y Volumen de Solución para Primera Prueba	89
Tabla 10. Dosis y Volumen de Solución para Segunda Prueba	89
Tabla 11. Muestras Control de Agua Cruda	95
Tabla 12. Muestras Testigo con Tratamientos con Sulfato de Aluminio	95
Tabla 13. Muestra de Investigación con Tratamientos con Sulfato Férrico	95
Tabla 14. Estadísticas Descriptivas para la Coagulación	100
Tabla 15. Análisis de Varianza de Tratamientos	101
Tabla 16. Estadísticas Descriptivas para Coagulación Óptima	103
Tabla 17. Análisis de Varianzas para Coagulación Óptima	103
Tabla 18. Estadísticas Descriptivas para la Flocculación	105
Tabla 19. Anova Kruskal Wallis- Flocculación	106
Tabla 20. Estadístico Kruskal Wallis	106
Tabla 21. Estadísticas Descriptivas de Dosis Óptima con Sulfato Férrico	107
Tabla 22. Anova de Dosis Óptima con Sulfato Férrico	108
Tabla 23. Contrastación de Hipótesis	112

RESUMEN

El objetivo principal de la presente tesis, fue determinar el efecto que produce el proceso de la coagulación con sulfato férrico en la remoción de arsénico del agua de río Rímac. Como ha quedado demostrado a lo largo de la investigación, el río Rímac está contaminado por metales pesados y principalmente por el arsénico, como consecuencia de los pasivos ambientales mineros y la actividad minera actual. El elemento con mayor toxicidad identificado en el río Rímac por sus efectos adversos en la salud, es el arsénico, catalogado como carcinógeno por el Instituto Internacional del Cáncer.

Para realizar las evaluaciones experimentales, se tomaron muestras de agua cruda en el río Rímac, específicamente en el punto de la bocatoma de la Atarjea – Lima; empleando el método del Jar Test, que es un método estandarizado por la ASTM D 2035-08 y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, el cual sirve para simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación en el tratamiento del agua y finalmente se evaluaron las concentraciones de arsénico en agua cruda y tratada con el kit de análisis de arsénico Merckoquant de Merck, con cuyos resultados confirmamos que el sulfato férrico removió hasta el 97% del arsénico de 60 ug/L en agua cruda hasta 2 ug/L en agua decantada, cumpliendo la norma de calidad de agua para consumo humano.

Palabras Clave: Coagulación, floculación, jar test, metales pesados.

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to determine the effect produced by the process of coagulation with ferric sulfate in removing arsenic from Rimac River water. As has been demonstrated throughout the investigation, the Rimac river is contaminated by heavy metals and arsenic mainly as a result of mining environmental liabilities and current mining activities. The most toxic element identified in the Rimac River by its adverse effects on health, is arsenic, listed as a carcinogen by the International Cancer Institute.

To perform experimental evaluations, raw water samples were taken in the Rimac River, specifically at the point of the intake of Atarjea - Lima; using the method of Jar Test, a standardized by the ASTM D 2035-08 and the Pan American Center for Sanitary Engineering, which serves to simulate the processes of coagulation, flocculation and sedimentation in water treatment method and finally evaluated arsenic concentrations in raw and treated water analysis it was used the arsenic kit Merckoquant of Merck, whose results confirm that ferric sulfate removed up to 97% of arsenic from 60 ug / L in raw water up to 2 ug / L in water decanted fulfilling the quality standard of water for human consumption.

Keywords: coagulation, flocculation, jar test, heavy metals.

I. INTRODUCCION