

UNIVERSIDAD NACIONAL

JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

**EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA Y
DUREZA INICIAL MEDIANTE INTERCAMBIADOR IÓNICO PARA
REMOCIÓN DE DUREZA SINTÉTICA EN AGUAS**

PRESENTADO POR:

M(o). Ronald Luis Ramos Pacheco

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

ASESOR

Dr. Edwin Guillermo Gálvez Torres

HUACHO - 2022

**EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA Y
DUREZA INICIAL MEDIANTE INTERCAMBIADOR IÓNICO PARA
REMOCIÓN DE DUREZA SINTÉTICA EN AGUAS**

M(o). Ronald Luis Ramos Pacheco

TESIS DE DOCTORADO

ASESOR: Edwin Guillermo Gálvez Torres

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

HUACHO - 2022

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia que son el principal motivo de mi superación y a los profesionales que me ayudaron a realizar esta investigación.

Ronald Luis Ramos Pacheco



AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por permitirme llegar hasta el día de hoy con salud y fuerzas, a la universidad por permitir llevar a cabo esta investigación en sus instalaciones y a mi asesor por ser un apoyo incondicional para llevar a cabo esta investigación.



ÍNDICE

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación de la investigación	4
1.5 Delimitaciones del estudio	4
1.6 Viabilidad del estudio	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.1.1 Investigaciones internacionales	5
2.1.2 Investigaciones nacionales	7
2.2 Bases teóricas	10
2.3 Bases filosóficas	24
2.4 Definición de términos básicos	25
2.5 Hipótesis de investigación	28
2.5.1 Hipótesis general	28
2.5.2 Hipótesis específicas	28
2.6 Operacionalización de las variables	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico	29
3.2 Población y muestra	29
3.2.1 Población	29

3.2.2	Muestra	29
3.3	Técnicas de recolección de datos	29
3.4	Técnicas para el procesamiento de la información	30
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS		
4.1	Análisis de resultados	31
4.2	Contrastación de hipótesis	37
CAPÍTULO V		
DISCUSIÓN		
5.1	Discusión de resultados	40
CAPÍTULO VI		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
6.1	Conclusiones	42
6.2	Recomendaciones	44
REFERENCIAS		
7.1	Fuentes documentales	45
7.2	Fuentes bibliográficas	46
7.3	Fuentes hemerográficas	46
7.4	Fuentes electrónicas	46
ANEXOS		
		47

RESUMEN

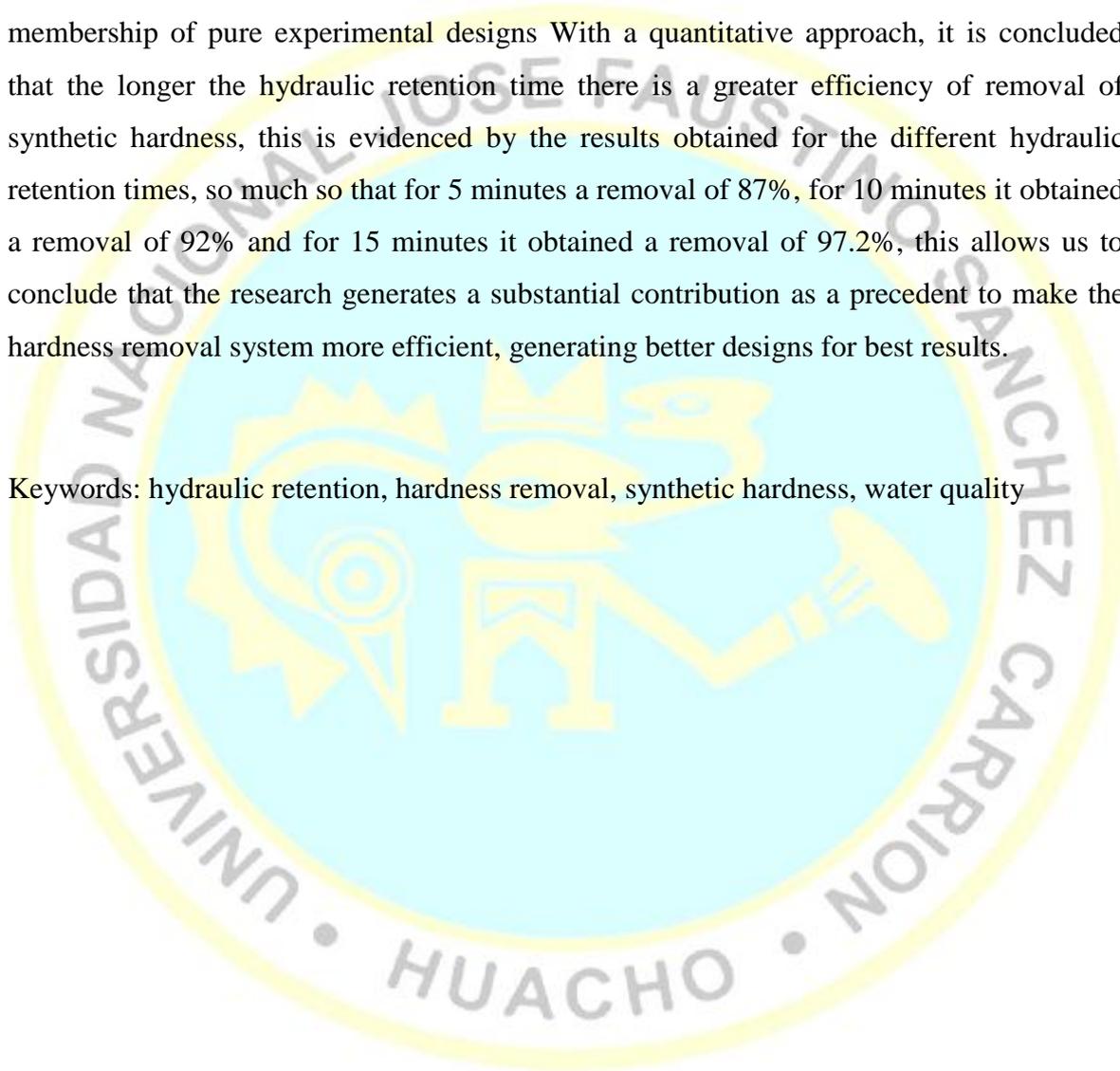
El objetivo de la siguiente investigación estuvo enfocado en el poder determinar las condiciones de operación dentro del tiempo de retención hidráulica y como éste afectaba la remoción de dureza sintética, la investigación es de un diseño experimental y aplicada, tiene una pertenencia a los diseños experimentales puros con un enfoque cuantitativo, Se concluye que a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de remoción de dureza sintética, esto se evidencia con los resultados obtenidos para los diferentes tiempos de retención hidráulica, tal es así que para 5 minutos obtuvo una remoción de 87%, para 10 minutos obtuvo una remoción de 92% y para 15 minutos obtuvo una remoción de 97.2%, esto nos permite concluir que la investigación genera un aporte sustancial como precedente para hacer más eficiente el sistema de remoción de dureza, generando mejores diseños para obtener mejores resultados.

Palabras clave: retención hidráulica, remoción de dureza, durezas sintéticas, calidad de agua

ABSTRACT

The objective of the following research was focused on being able to determine the operating conditions within the hydraulic retention time and how this affected the removal of synthetic hardness, the research is of an experimental and applicative design, it has a membership of pure experimental designs With a quantitative approach, it is concluded that the longer the hydraulic retention time there is a greater efficiency of removal of synthetic hardness, this is evidenced by the results obtained for the different hydraulic retention times, so much so that for 5 minutes a removal of 87%, for 10 minutes it obtained a removal of 92% and for 15 minutes it obtained a removal of 97.2%, this allows us to conclude that the research generates a substantial contribution as a precedent to make the hardness removal system more efficient, generating better designs for best results.

Keywords: hydraulic retention, hardness removal, synthetic hardness, water quality



INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida humana no solo por ser empleado para consumo sino para diversos procesos que facilitan la supervivencia. Según la ley de recursos hídricos (Ley N° 29338, 2009) el agua toma por definición como aquel bien que puede ser empleado públicamente para diversos procesos permitiendo obtener un valor económico, social o ambiental.

Sin embargo, el recurso podría no estar disponible en todos los casos debido a diversos factores como el incremento poblacional, una incorrecta distribución del recurso y una mala conservación de su pureza.

Asimismo debido a ciertas actividades como la descarga de aguas residuales municipales constituyen una problemática que se va acrecentando debido al mal uso de la población, el incremento considerable que se va dando de la misma y otras actividades que generan residuos consecuentes, debido a ello se busca minimizar los efectos que afectan la calidad del agua y su uso que se le da a muchas actividades en el sector agrícola, pecuaria, industrial o doméstica, además de afectar la vida acuática que supone la disminución de recursos alimenticios para los seres humanos.

Se conoce que por lo menos un 70% de los desechos provenientes de industrias junto con un 90% de aguas residuales de países que se encuentran dentro de un proceso de desarrollo son descargados sin haber recibido un tratamiento adecuado o en el peor de los casos sin un tratamiento en sí. Según los porcentajes de América latina, un 48% de la población convive cerca de sistemas de alcantarillado convencional que transporta las denominadas aguas negras por medio de redes subterráneas mientras que el 31% dispone de sistemas individuales. Dentro de ello, se conoce que solo el 14% recibe un tratamiento y dentro de ese pequeño porcentaje un 6% es el que recibe un correcto tratamiento.

Como consecuencia de la problemática descrita es la obtención de grandes masas de agua contaminadas debido a la llegada constante de efluentes que poseen desechos y que no poseen calidad de Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Aquellos desechos sólidos que se encuentran presentes en las aguas residuales como el lodo podrían ocasionar una contaminación del agua y suelo si no se le da un buen manejo. En el Perú no se le da la

debida importancia al tema de saneamiento urbano y las mejoras que se le podría dar, por lo tanto, el tema no se consideran relevante.

Existen eventos en que se da la sobrecarga de aguas servidas dentro de las plantas de tratamiento que no poseen una infraestructura adecuada para contenerlas haciendo que se sobrepase de los límites máximos permisibles. Esto genera que una masiva contaminación y afección a la composición natural que posee el agua.

Hasta el momento para ablandar el agua se requiere de un método en específico el cual cumple con los criterios convenientes para su empleo, el método de intercambio iónico emplea ablandadores que sirven para eliminar los iones de Mg^{+} y Ca , estos se caracterizan por ser económicos y eficientes para contrarrestar la dureza que presenta el agua.

Es por ello que ante lo expuesto el objetivo de esta investigación se centra en poder eliminar uno de los compuestos o parámetros que generan efectos adversos en diferentes magnitudes y agentes, esta es la dureza total, la cual está ligada a la dureza cálcica y magnésica, con la finalidad de poder obtener un agua de calidad que al ser tratada no genere ningún efecto adverso a la naturaleza ni a la humanidad, es por ello que se lleva a cabo la investigación “Evaluación Del Tiempo De Retención Hidráulica Y Dureza Inicial Mediante Intercambiador Iónico Para Remoción De Dureza Sintética En Aguas”.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En nuestro ecosistema planeta tierra habitamos un número infinito de seres vivos, los cuales han desarrollado costumbres y necesidades. Antiguamente el hombre primitivo y todos los organismos vivos por su necesidad natural de requerir agua, lo hacían de lugares como: ríos, filtraciones, sin mayores consecuencias para su salud y el Perú no era ajeno a estas costumbres. Con el transcurrir de los tiempos se formaron ciudades, evolucionaron minerías y el consumo de agua se ha hecho un tanto peligrosa, requiriendo de mayor tecnología para tratarla y ver si son aguas que se puedan consumir sin ningún riesgo para la salud.

Debido a ciertas actividades como la descarga de aguas residuales municipales constituyen una problemática que se va acrecentando debido al mal uso del agua que le da la población, el incremento considerable que se va dando de la misma y otras actividades que generan residuos consecuentes, debido a ello se busca minimizar los efectos que afectan la calidad del agua y su uso que se le da a muchas actividades en el sector agrícola, pecuaria, industrial o doméstica, además de afectar la vida acuática que supone la disminución de recursos alimenticios para los seres humanos.

El hombre en su afán de mejorar sus servicios en su beneficio es que desarrolla nuevas técnicas, equipos para contrarrestar los peligros.

Cuentan los antiguos habitantes de la ciudad de Huacho que el agua era dulce, no raspaba la garganta cuando se bebía, pero con los temblores y sobre todo el temblor de la década del 70 estas aguas cambiaron, se volvieron salobres y a la hora que se hervían esas aguas desprendían gran cantidad de caliche o sarro hasta la actualidad; según los análisis realizados por EMAPA HUACHO la dureza total de estas aguas es por encima de 500 ppm. Así como todas las ciencias van mejorando con el transcurrir del tiempo, para afrontar las actuales realidades del país, así también los equipos van mejorando su tecnología para

facilitar la rapidez de los análisis y hacerlos mucho más precisos, en tal sentido se plantea la siguiente investigación EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA Y DUREZA INICIAL MEDIANTE INTERCAMBIADOR IÓNICO PARA REMOCIÓN DE DUREZA SINTÉTICA EN AGUAS, la cual busca dar solución a este latente problema.



1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida las condiciones de operación del tiempo de retención hidráulica y dureza inicial influyen en la remoción de dureza sintética en aguas?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas?

¿Cómo evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar las mejores condiciones de Operación del tiempo de retención hidráulica en función a la dureza inicial mediante intercambiador iónico para remoción de dureza sintética en aguas.

1.3.2 Objetivos específicos

Evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas.

Evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas.

1.4 Justificación de la investigación

Todo equipo, reactivo o material tiende a mejorar su diseño, estructura, composición química con la finalidad de mejorar su agilidad, ser más pequeños de mayor precisión y versatilidad.

La presente investigación la evaluación del tiempo de retención hidráulica y dureza inicial en el intercambiador iónico nos permitirá ver la precisión de la dureza sintética en cualquiera de sus concentraciones de acuerdo con los parámetros de estudio. Para poder brindar un mejor uso del equipo para obtener agua blanda de mejor calidad dentro del proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

1.5 Delimitaciones del estudio

El presente proyecto de investigación se desarrollará en el laboratorio de operaciones unitarias N° 106 de la facultad de ingeniería química y metalúrgica, de la universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión – Huacho, con las muestras de dureza sintética con sus respectivas concentraciones de los parámetros del presente estudio.

1.6 Viabilidad del estudio

La presente investigación se basa en ver los tiempos de retención hidráulica y dureza inicial, de concentraciones de calcio y magnesio con parámetros ya establecidos y poder obtener nuevas precisiones basados en uso de materiales, equipos de laboratorio, así como de medición tales como balanza analítica, métodos de obtención de dureza, sensores de medición de dureza para los distintos parámetros de concentración, etc. Para ello el laboratorio de operaciones unitarias cuenta con equipamiento, así como metodologías especializadas que permitan hacer las lecturas confiables. Además, se cuenta con la disponibilidad de tiempo y acceso a las fuentes de información para el desarrollo del presente proyecto de investigación. En la parte económica para la ejecución del presente proyecto se cuenta con el presupuesto necesario financiado por el autor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Guerra, Cabrera y Salazar (2018) manifiesta que el problema ambiental más importante de la industria quesera es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada. Con la finalidad de minimizar el impacto ambiental es necesaria la depuración de las aguas provenientes de la producción de quesos. En este trabajo se presenta el diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales usando el método de lodos activados. El diseño consistió de tres etapas: caracterización de la planta de tratamiento de aguas residuales, estudio de lodos activados y estudio del efecto de la carga orgánica sobre la remoción de la materia orgánica. Es un estudio cuasi-experimental basado en datos reales recogidos en una de las industrias queseras del cantón Guano, provincia de Chimborazo, usando muestreo puntual sobre el depósito de aguas residuales. El prototipo está conformado de un tanque homogeneizador, un tanque aireador y un tanque sedimentador. La evaluación del prototipo inició empleando varios tiempos de retención hidráulica en 12, 24, 48 y 72 horas y recirculación de lodos. Como resultado se obtuvo una reducción de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de 21600 mg/L hasta llegar a un valor de 59 mg/L, con una eficiencia del 99.7%. Adicionalmente se empleó un tiempo menor de depuración en comparación con los resultados que se presentan en trabajos relacionados.

Morales y Sanchez (2017) en su investigación denominada “Diseño De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Para El Estero Sabanilla Para La Reutilización En Actividades Agrícolas”, en la cual menciona que:

Con la presentación del presente proyecto se busca establecer una alternativa para el sector agrícola de la zona rural del cantón Daule, reciento San Enrique, en la que se evidencia el empleo del agua, por parte de los agricultores, para realizar las actividades agrícolas y rutinas diarias, las mismas que han sido perjudicadas por presencia de contaminación detectado gracias al análisis establecido antes del desarrollo del presente proyecto. La alternativa de solución propuesta comprende la instalación de un sistema de tratamiento que permitirá realizar mejoras y alcanzar la calidad adecuada del agua del estero Sabanilla que se requiere. Para proceder se realizará la toma de muestras de agua del estero las cuales serán desmineralizadas empleando el sistema de intercambio iónico permitiendo obtener un efluente con las características adecuadas para cumplir con los requisitos que requiere el agua de riego de acuerdo con la tabla 4 del anexo 6 del Acuerdo ministerial. Asimismo, que se le dé una composición que mejore el nivel de nutrientes que presenta el arroz, el cual es el cultivo principal de dicha zona.

Neira (Neira, 2006) en su investigación denominada “Dureza En Aguas De Consumo Humano Y Uso Industrial, Impactos Y Medidas De Mitigación. Estudio De Caso: Chile”, llegó a las siguientes conclusiones:

De acuerdo con las características que presentan tanto la geografía como las condiciones del ambiente y las actividades productivas que se realizan al interior del país, se considera que la distribución de la dureza de aguas para uso industrial y consumo de la población no presenta homogeneidad por todo Chile. Dicho comportamiento se debe a que dentro de las características geológicas que presenta el país, las cuales son variadas, se encuentran cuencas subterráneas y superficiales de donde se adquiere el agua. La zona norte, que comprende desde la I hasta la IV región, se caracteriza por presentar un predominio de rocas sedimentarias como la caliza, la misma que van desapareciendo conforme se llega hacia la zona central, que comprende desde la V hasta la VII región, en la que se presencia la transición entre calizas y rocas impermeables como granito, este último muestra predominancia al llegar a la zona sur, que comprende desde la IX hasta la XII región. Con relación con el proceso para quitar la dureza, se sabe que los más empleados son el proceso de intercambio iónico y el proceso de cal-carbonato, los cuales presentan como característica y desventaja en común que realizan un intercambio del calcio y magnesio por

otros minerales que pueden ser perjudiciales para la salud de los seres vivos. Asimismo, el proceso de membrana más empleado podría ser la nano filtración la cual se encarga de remover la dureza. Debido a que otros procesos para la remoción de dureza se encuentran aún en pruebas de laboratorio no han sido tomados en cuenta en la presente investigación. Finalmente se reconoce que el proceso más utilizado en Chile es el intercambio iónico.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Coronado y Vargas (2018) En el caso de la extracción de oro con cianuro de sodio se producen aguas residuales que contienen de 400 a 600 ppm de cianuro, un nivel perjudicial para la salud humana. Por este motivo se desarrolló la presente investigación para evaluar la influencia del pH y el tiempo de retención hidráulica (TRH) sobre el grado de biodegradación de cianuro empleando *Pseudomonas* inmovilizadas en un biofiltro. Las bacterias *Pseudomonas* debidamente aisladas fueron adaptadas en forma escalonada desde un medio con 50 ppm hasta 350 ppm de cianuro de sodio. Estas bacterias adaptadas fueron inoculadas e inmovilizadas sobre piedra caliza chancada a 1 cm de tamaño, contenidas dentro de un biofiltro de 2 litros de capacidad total. Se empleó tres niveles de pH (8, 10 y 12) y tres niveles de TRH (10, 20 y 30 horas), es decir 9 combinaciones. Se utilizó soluciones sintéticas con una concentración de 400 ppm de cianuro. Se instaló un depósito para la alimentación continua y regulada de la solución a través del biofiltro. Así mismo se inyectó aire en forma continua. El efluente se recibió en otro depósito, del cual cada cierto tiempo se recirculó al sistema. Todo el sistema trabajó en circuito cerrado para evitar la volatilización del cianuro. Las muestras obtenidas después del tratamiento fueron analizadas con el fotómetro multiparametro HANNA C200, y con los valores obtenidos se calculó el grado de biodegradación. Los niveles de biodegradación obtenidos fueron elevados comparados con otros estudios similares, pero solo las combinaciones de pH de 12 y TRH de 20 y 30 horas produjeron resultados que son aceptables por las normas peruanas para este tipo de efluentes mineros (1 ppm). Con el análisis factorial de varianza se concluye que el TRH tiene una mayor influencia que el pH sobre el grado de biodegradación, y que el efecto combinado de las dos variables es menor. Se recomienda el uso de la cepa aisladas y combinada para el biotratamiento de soluciones de cianuro.

Ramos (2017) en su investigación “Capacidad de la resina Amberlite IR-120 para mejorar la calidad de agua subterránea en la urbanización San Sebastián – Comas, 2017”, manifiesta que:

La investigación presento como objetivo la intención para realizar las mejoras necesarias de la calidad del agua subterránea que ha sido designada para consumo humano en la urbanización San Sebastián - Comas, 2017; empleando la resina catiónica Amberlite IR-120 mediante un sistema de ablandamiento piloto. Se inició con el procedimiento considerando los parámetros del diseño los cuales son la altura del lecho, su diámetro, el tiempo designado para la operación, capacidad, flujo de servicio y otros indicadores correspondientes al proceso de intercambio iónico, los mismos fueron determinados de acuerdo a la hoja de ingeniería de la resina. Seguidamente, se obtuvo la característica del agua de tratamiento la cual presentó valores como una temperatura de 25,3°C, una conductividad de 1477 uS/cm, oxígeno disuelto de 7,09 mg/L, una turbiedad de 0,26 UNT, una alcalinidad de 204 mg/L, una dureza de 20,1mg/L y finalmente un pH de 7,16. Dichos valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. De acuerdo con todo lo descrito se llega a la conclusión de que la resina Amberlite IR-120 es capaz de mejorar la calidad que muestra el agua subterránea pues realiza mejoras de la dureza, el oxígeno disuelto y el pH teniendo como porcentaje de remoción de dureza un 97,2%.

Satalaya (2015) en su investigación denominada “Evaluación De La Eficiencia Del Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas En Las Lagunas De Estabilización De La Ciudad De Uchiza”, en la cual manifiesta lo siguiente:

Se considera como una alternativa eficiente para realizar el tratamiento de las aguas residuales a las lagunas de estabilización, no obstante, presenta una desventaja observable y considerable la cual es una alta concentración de algas dentro del efluente, lo cual requiere de un tratamiento adicional para el mejoramiento de la calidad del mismo, además de una mejora para el funcionamiento conforme pasa el tiempo. La investigación presenta por objetivos el poder evaluar que tan eficientes son las aguas residuales de las lagunas de estabilización, evaluación de los parámetros, evaluación de las aguas que son tratadas de acuerdo a la disposición de los límites máximos permisibles y presentar alternativas de solución adecuadas. La investigación ha sido realizada en el distrito de Uchiza, provincia de Tocache, departamento de San Martín. Se han obtenido los siguientes resultados: a) La entrada a la planta (afluente P1), mostró un comportamiento dentro de lo típico para las descargas de agua doméstica sin tratar. b) En la descarga de la planta (efluente P2), la T° y

el pH estuvieron dentro de los LMP para aguas residuales domésticas y municipales vertidas a cuerpos de agua según el D.S. N° 003-2010, mientras que la DQO se encontró por abajo con 9.14 mg/l a lo referido por el D.S. N° 003-2010, en el DBO5 y STS están por encima del LMP. c) La eficiencia del sistema de tratamiento para la DBO5 fue de 20.76% y para STS fue de 23.56%, estos valores son muy bajos ya que la eficiencia óptima del DBO5 es de 70 – 80 % y de STS es de 90 %. Según los resultados descritos se concluye que existe un mal funcionamiento del sistema de tratamiento debido a que hay un tiempo corto de retención hidráulica en las lagunas impidiendo que los microorganismos sean capaces de descomponer la materia orgánica. a) Las alternativas de remediación al problema establecido tanto en alto contenido de DBO5 Y STS que sobrepasan los LMP, y la deficiencia de DBO5 Y STS son: Mantenimiento de las lagunas de estabilización que existen y la implementación de un sistema de humedales artificiales al agua por presencia de plantas.



2.2 Bases teóricas

Tiempo de retención Hidráulica

La información de definición y empleo del tiempo de retención hidráulica está en base a su uso, ya que este método es empleado en distintas ciencias con las que se apoya la industria, pero casi en su mayoría coinciden en su finalidad y estructura de uso.

Para Sswm.info (s.f.) menciona que el tiempo de retención Hidráulica es:

La cantidad promedio de tiempo que los compuestos líquidos y solubles permanecen en un reactor o tanque. Se calcula dividiendo el volumen de un reactor (p. Ej., M³) por el caudal del afluente (e.t. m³ / día). En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, la TRH influye en la eficiencia del tratamiento y, por lo tanto, es un parámetro de diseño importante (párr.1).

En distintos foros internacionales mencionan de que se trata este proceso y su utilidad, al respecto Quora (2018a) menciona que es:

Uno puede entender el tiempo de retención hidráulica (HRT) como el tiempo promedio que el líquido estuvo retenido en la unidad o proceso específico. Dado que la reacción físico-química tiene una velocidad, la extensión de una reacción o proceso se decide por el tiempo de contacto de cada reactivo, por lo tanto, la TRH es un factor clave durante la dimensión de las unidades de tratamiento de aguas residuales. La HRT se decide por la velocidad de reacción del proceso específico o unidad bajo la condición específica (párr.8).

En el mismo foro hace referencia a otra definición y utilidad que se enmarca como aporte dentro de la investigación Quora (2018b) menciona que es:

El tiempo de retención hidráulica (τ) o HRT es el tiempo de residencia utilizado para calcular la solubilidad de una sustancia particular mantenida en un bio depósito con respecto al tiempo. En el tratamiento de aguas residuales, el agua se mantiene en diferentes tanques acondicionados durante un período de tiempo para tratar el agua. También para extraer todas sus impurezas solubles e insolubles, bacterias y otros patógenos que podrían estar presentes. Sacar los niveles de DQO y DBO requeridos en el agua

también es otra razón. La TRH ayuda a mantener estas condiciones bajo diferentes temperaturas y presiones, y cuánta exposición necesita durante un período de tiempo requerido (párr.7).

Esta metodología es empleada para poder definir qué cantidad de tiempo demora el que un líquido sintético se retorne a un estado inocuo o saludable para el consumo Humano o para un propósito industrial.

El agua

A la fecha se tiene claro que es el agua, sin embargo, cada autor la define de acuerdo a su utilidad dentro de lo que se quiera hacer, ya sea para consumo humano directo o para consumo indirecto, según (Dardel, 2017) el agua es:

Considerado como el líquido fundamental para mantener la vida en el planeta, el agua mantiene una composición de dos moléculas de Hidrogeno con una molécula de Oxígeno (H_2O). Sin embargo, mantienen cierta complejidad la cual puede evidenciarse al analizar el por qué el agua embotellada posee un costo mayor de acuerdo con la mineralización que posea.

En general, todas las masas de aguas no poseen simplemente en su composición H_2O sino que también pequeñas y diversas cantidades de otras sustancias. El agua que se encuentra en un pozo, en el río, el mar o en el grifo de casa contiene en su composición sustancias solidas que no han sido capaces de disolverse pues son insolubles, estos pueden ser granos de arena. Sin embargo, se pueden filtrar para evitarlos.

Asimismo, también puede haber en la composición de las aguas compuestos solubles los cuales no se pueden evitar mediante filtración. El origen de estos compuestos puede ser tanto orgánico como mineral y pueden ser ionizados o no.

Ademas, existen compuestos solubles no ionizados dentro de la composición del agua que tienen forma de moléculas como, por ejemplo:

Gas carbónico; corresponde a una molécula de tamaño mínimo don una formula simple la cual es CO_2 .

El azúcar o también denominado sacarosa, la cual es una molécula más grande en comparación con la molécula de gas carbónico que posee una fórmula más compleja la cual es $C_{12}H_{22}O_{11}$. Para poder eliminar este tipo de sustancias se requiere de un intercambio iónico solo si se puede ionizar.

Calidad del agua

Existen distintas definiciones de calidad del agua, ya que cada una va enfocada de acuerdo a su uso industrial, domiciliario, agrícola, acuícola, etc., es por ello que Fondriest (2019) da importancia al monitoreo de sus parámetros para así poder saber si estos están en un estado óptimo para la actividad en la cual se va a emplear y a la vez no afecte indirectamente al ecosistema o ambiente que lo rodea, a todo ello menciona que Una prueba de la calidad que presenta el agua forma parte fundamental dentro del monitoreo ambiental que se realiza. Si existe una mala calidad del agua se afecta la vida acuática y también el ecosistema que lo comprende. Así mismo también menciona que una modificación en estos parámetros influye en la calidad del agua en el medio ambiente.

Fondriest (2019) indica que estos parámetros van en base a los factores físicos, químicos y biológicos, afirma que:

Entre las propiedades físicas que comprende y determinan la calidad del agua se encuentran tanto la turbidez y la temperatura. Asimismo, las características químicas que presenta serían la cantidad de oxígeno disuelto y el pH. Además, comprende indicadores biológicos los cuales son el fitoplancton y las algas. Todos los parámetros mencionados son fundamentales para todo tipo de aguas (Mar, lago, río, subterráneas, industriales)

El monitoreo de la calidad del agua puede ayudar a los investigadores a predecir y aprender de los procesos naturales en el medio ambiente y determinar los impactos humanos en un ecosistema. Estos esfuerzos de medición también pueden ayudar en proyectos de restauración o garantizar que se cumplan las normas ambientales.

Para el trabajo de investigación que se planteado no se va a tomar en cuenta los parámetros Biológicos, ni en totalidad los parámetros físico químico, Ecured (2019) menciona a los siguientes:

pH: Parámetro que define el punto de acidez que muestra el agua, comprende una escala que va desde el 1 hasta el 14. Un número menor demuestra mayor acidez mientras que un número mayor indica una mayor alcalinidad.

Temperatura: Tiene gran influencia en la calidad del agua pues se considera la relación entre temperatura y solubilidad de sales y gases, esto hace referencia a que mientras se detecte una mayor temperatura quiere decir que habrá una mayor solubilidad de iones y una menor solubilidad de gases. Ambos factores son

considerados pues se caracterizan por disminuir la calidad que presenta el agua debido a que no permiten una buena disolución del oxígeno.

Oxígeno disuelto: Es un factor fundamental pues permite la supervivencia de la fauna y flora acuática. Tanto las plantas como animales y microorganismo requieren de oxígeno lo cual es distribuido correctamente solo si existe un buen parámetro de oxígeno disuelto.

Dureza: Comprende la presencia y concentración de cationes los cuales son iones metálicos positivos. Entre los más abundantes se consideran al Ca y el Mg.

Alcalinidad: Concentración que existe de cationes o iones metálicos negativos. Los más abundantes serían el CO_3 Y HCO_3 .

DBO (Demanda biológica de oxígeno): Corresponde al oxígeno que se requiere producto de la biodegradación de la materia orgánica que se encuentra en el agua.

DQO (Demanda química de oxígeno): Corresponde al oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica y mineral que se encuentra en el agua.

Nitrógeno: Importante para los organismos debido a que forma parte de las proteínas y ácidos nucleicos.

Fosforo: Nutriente esencial para permitir que se dé la vida acuática, asimismo permite limitar el crecimiento de las plantas. Por lo general, se presenta cuando existe eutrofización de las aguas o crecimiento de algas indeseables que se acumulan en sedimentos.

Dureza del Agua

Para Ramya, Jagadeesh, Tirupathi y Venkateswara (2015) apoyados en instituciones y otros autores definen la Dureza del agua como:

La dureza, una propiedad fisicoquímica del agua, es generalmente una medida de iones de calcio y magnesio en agua. Zinc, hierro, el estroncio, el aluminio y el manganeso también pueden contribuir a Dureza del agua; sin embargo, generalmente están presentes en muy bajo concentraciones (NRC, 1974). Estos iones entran al suministro de agua. por lixiviación de minerales de rocas y suelo. Los minerales comunes que contienen calcio son la piedra caliza (carbonato de calcio) y tiza (sulfato de calcio). Un mineral de

magnesio común es dolomita, que también contiene calcio (Gumashta et al., 2012) (p.1).

Tabla 1. *Clasificación de la Dureza del agua según la concentración de Carbonato de calcio.*

Clasificación de suministro de agua	
Dureza	Concentración de Carbonato de Calcio (mg/L)
Agua suave (blanda)	0 a 75
Agua medianamente dura	75 a 150
Agua dura	150 a 300
Agua muy dura	300 a mas

Fuente: (Generalic, E., 2018)

Intercambio Iónico:

(Dardel, 2017) manifiesta que:

El intercambio iónico es una tecnología muy poderosa para ablandar y desmineralizar agua hasta una pureza extrema. Inició su desarrollo a partir de los años 1950 y hoy alcanza una gran madurez que la hace insustituible para producir agua ultra-pura, es decir para eliminar cualquier traza de contaminantes.

Además del tratamiento de agua, el intercambio iónico tiene varios usos en la industria e incluso en el hogar. Con esta tecnología se puede, por ejemplo:

- Eliminar el color de jarabes de caña para producir azúcar blanco
- Purificar antibióticos y otros productos farmacéuticos
- Extraer uranio de sus minerales
- Separar metales en solución
- Eliminar compuestos indeseables o tóxicos de diversas soluciones
- Participar como excipiente en formulaciones farmacéuticas
- Catalizar reacciones para producir los agentes antidetonantes de la gasolina
- Producir agua pura y clara para su café o té en casa (pág. 1)

Iones

(Dardel, 2017) menciona que:

Las sustancias solubles ionizadas disueltas en agua están presentes como iones, que son átomos o moléculas que llevan cargas eléctricas. Los iones con carga positiva se llaman cationes, los que llevan carga negativa, aniones. Puesto que el agua es globalmente neutral eléctricamente —si no lo fuese, sufriríamos un choque eléctrico cuando sumergimos nuestra mano en el agua— el número de cargas positivas y negativas debe ser exactamente igual. (pág. 2)

2.2.1 Procesos Químicos

Los procesos químicos corresponden a aquellos procedimientos que permiten eliminar contaminantes. También se consideran como métodos de tratamiento y consiste en emplear productos químicos que serán adicionados permitiendo diversas reacciones químicas como una reducción, coagulación, floculación, oxidación, desinfección, absorción o intercambio iónico.

El proceso químico en el cual se enfocará el estudio será el intercambio iónico debido a que los objetivos descritos lo consideran así.

2.2.2 Intercambio iónico

Corresponde a una operación que permite lograr una separación, está basado en la transferencia de masa la cual comprende la transferencia fluido-sólido. Al realizar el proceso de intercambio iónico se genera una reacción química donde se produce un intercambio entre los iones hidratados que se encuentran en movimiento que se encuentran en sólidos con los iones con misma carga comprendidos en un fluido.

El proceso puede explicarse como el transporte que se le hace al fluido mediante un intercambiador catiónico y/o aniónico sólido, los mismos se reemplazan por aniones y/o cationes OH^- y H^+ .

La operación muestra eficacia dependiendo de diversos factores como un pH fluido, difusión, temperatura, concentración de iones, etc.

Aplicación del Intercambio Iónico

Se tomó de referencia a Dardel (2017) que define en cuanto a tratamiento de agua a:

1. Ablandamiento

Se emplea una resina intercambiadora de cationes fuertemente ácida en forma sodio. Los iones que constituyen la dureza de agua, principalmente el calcio y el magnesio, se intercambian con el sodio de la resina. El agua ablandada sirve para varios usos:

Lavanderías

Calderas domésticas

Calderas industriales de baja presión

Industria textil

Resinas recomendadas:

Amberlite™ IR120 Na, Amberjet™ 1000 Na

Amberlite SR1L Na para agua potable

Calidad del agua tratada:

Dureza residual < 0,02 meq/L (0,1 °f) con regeneración a contra-corriente

Regeneración: salmuera (NaCl en solución de 10 %)

2. Descorbanatación

En muchas regiones del mundo —por ejemplo, en Europa central y meridional— las aguas naturales contienen bicarbonatos. Los iones de calcio y de magnesio asociados con estos se pueden eliminar con resinas débilmente ácidas en forma hidrógeno. Este proceso se llama también eliminación de la dureza temporal. El agua tratada contiene gas carbónico que se puede eliminar con una torre de desgasificación. La salinidad del agua tratada es más baja que la del agua bruta.

El agua descarbonatada sirve:

para tratar el agua de producción de cerveza y otras bebidas para ablandar las aguas de abastecimiento en ciudades y pueblos en casa, para filtrar, ablandar y desmineralizar parcialmente el agua para hacer café o té como etapa inicial antes de una desmineralización completa para ciertos procesos industriales

Resinas recomendadas:

Amberlite IRC86 para aguas industriales

Amberlite PWC13 para aguas de abastecimiento

Imac™ HP333 y 335 para cartuchos domésticos

Calidad del agua tratada:

Alcalinidad residual = muy baja (fin de ciclo tradicional a 10% del TAC del agua bruta)

Dureza residual = dureza permanente (TH – TAC)

Regeneración: ácido (de preferencia HCl en solución de 5 %)

3. Desmineralización

Para eliminar todos los iones, el agua pasa primero a través de una columna intercambiadora de cationes en forma hidrógeno, después a través de una columna intercambiadora de aniones en forma base libre o hidroxilo. Todos los cationes se cambian por iones H^+ de las resinas catiónicas, y los aniones por iones OH^- de las resinas aniónicas. Estos iones se recombinan formando nuevas moléculas de agua (H_2O). El agua tratada no contiene sino trazas de sodio y de sílice.

Resinas recomendadas:

Amberlite IRC86 (débilmente ácida)

Amberlite IR120 o Amberjet 1000 (fuertemente ácida)

Amberlite IRA96 ou IRA67 (débilmente básica)

Amberlite IRA402 ou Amberjet 4200 ou 4600 (fuertemente básica)

El uso de resinas débiles depende de la composición del agua bruta y del tamaño de la planta de tratamiento.

Calidad del agua tratada:

Conductividad de 0,2 a 1 $\mu S/cm$ en regeneración a contra-corriente

Sílice residual de 5 a 50 $\mu g/L$ según la cantidad de sílice en el agua bruta y de la tasa de regeneración.

El pH del agua tratada no se puede medir en agua desmineralizada.

Estos valores son más bajos que los obtenidos con otros procesos, tales como destilación u ósmosis inversa.

Regeneración

Intercambiadores de cationes: un ácido fuerte (HCl o H_2SO_4)

Intercambiadores de aniones: sosa cáustica ($NaOH$)

4. Lechos mezclados

4.1. Lechos mezclados de pulido

Para obtener una calidad de agua desmineralizada aún mejor, parecida a la del agua totalmente pura, se puede instalar una columna de resinas mezcladas: una catiónica fuertemente ácida en forma H^+ y una aniónica fuertemente básica en forma OH^- . Estas resinas tienen que estar mezcladas en la fase de producción (agotamiento) pero hay que separarlas para regenerar. Esta separación se hace contralavando el lecho de resinas con una corriente ascendente y necesita resinas de granulometría y de densidad adecuadas.

Para ciertas aplicaciones en la industria de semiconductores o en circuitos de centrales nucleares se emplean resinas de calidad especial.

Calidad del agua tratada:

Conductividad de 0,055 a 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Sílice residual de 1 a 10 $\mu\text{g}/\text{L}$.

El pH del agua tratada no se puede medir en agua desmineralizada.

Regeneración

Intercambiadores de cationes: un ácido fuerte (HCl o H_2SO_4) Intercambiadores de aniones: sosa cáustica (NaOH)

4.2. Lechos mezclados de trabajo

En casos de agua bruta de baja salinidad, o cuando el volumen de agua necesario es módico, se pueden emplear lechos mezclados alimentados con agua de abastecimiento municipal o con permeado de ósmosis inversa. Llamamos estos "lechos mixtos de trabajo". Las resinas son las mismas que para lechos mixtos de pulido. Un caso especial es el servicio de desionización (SDI) con botellas regeneradas externamente

Estas clasificaciones son definidas por Dardel (2017, pág. 6).

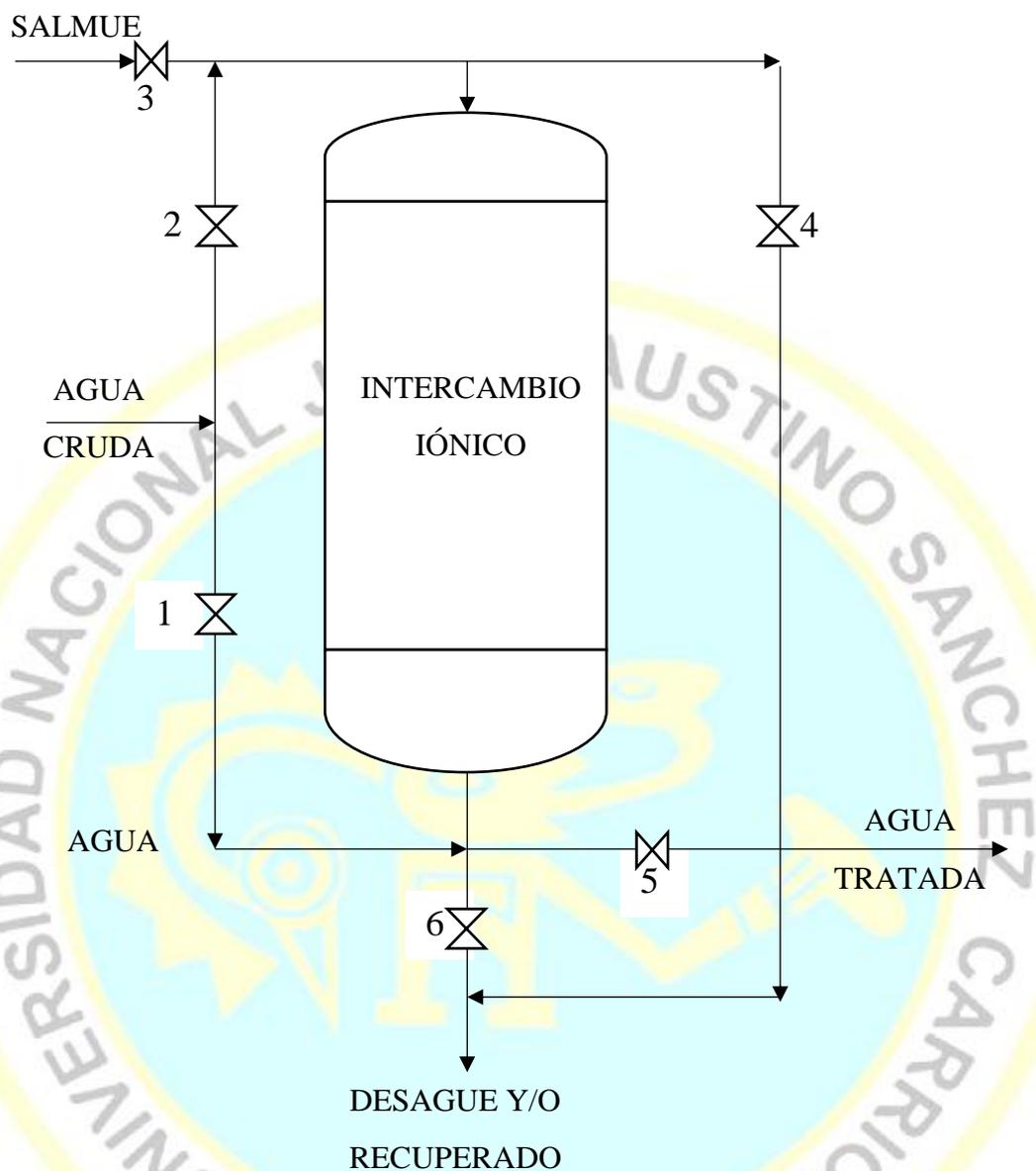


Figura 1. Disposición de flujos y válvulas en equipos de Intercambio Iónico

Fuente. Libro de tratamiento de aguas industriales (Vergara, 1984, pág. 181)

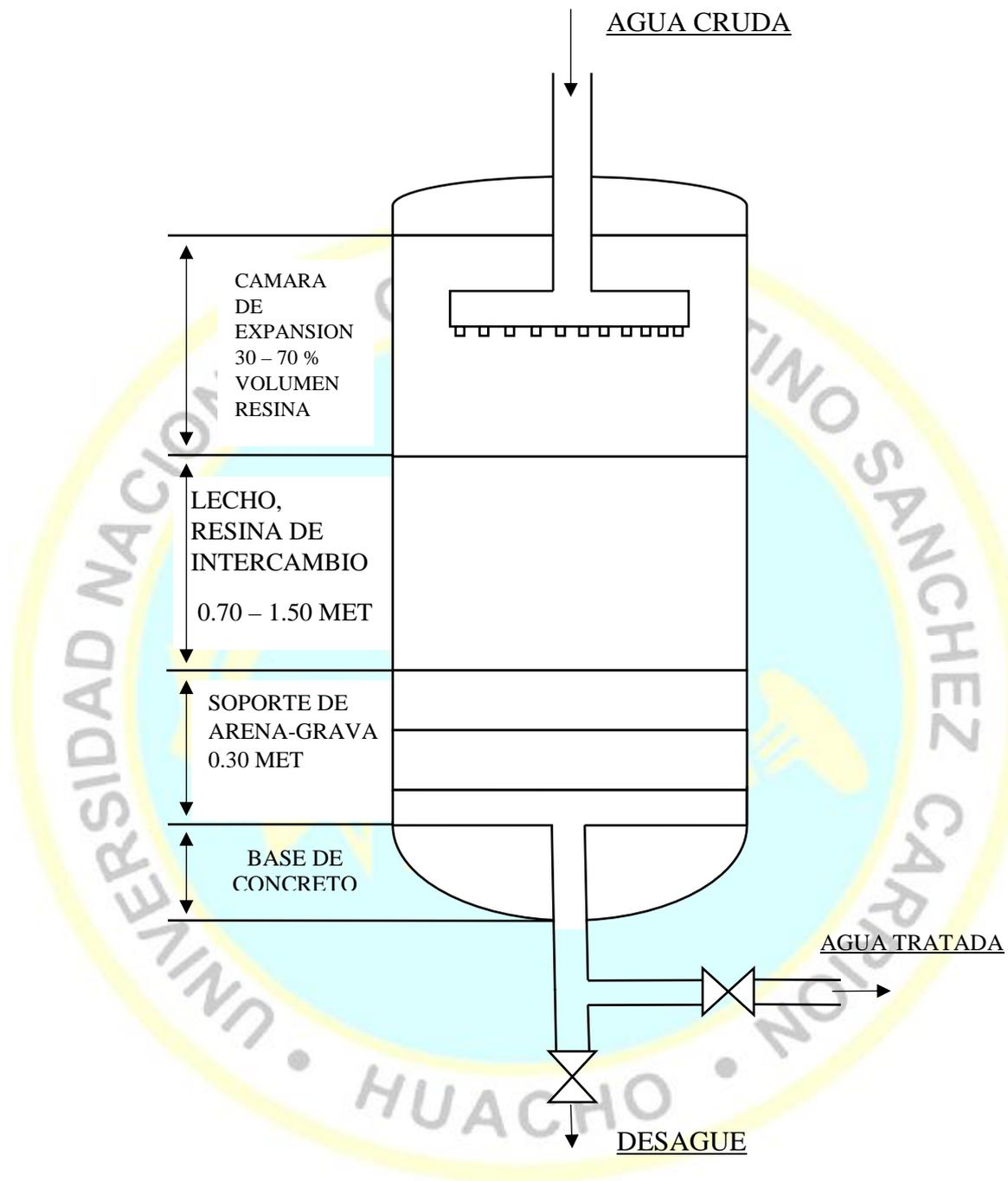


Figura 2. Distribución interna de un ablandador de agua.

Fuente. Libro de tratamiento de aguas industriales (Vergara, 1984, pág. 179)

Resinas intercambiadoras de iones

Las resinas tienen como característica fundamental la facultad para poder realizar el intercambio de iones presentes en una fase sólida a una fase líquida reversiblemente, permitiendo que se pueda volver hasta el estado base sin generar un cambio de la estructura de esta. Poseen una composición que contienen una matriz de polímero de enlace cruzado en la que se le unen a través de enlaces covalentes grupos de cargas funcionales.

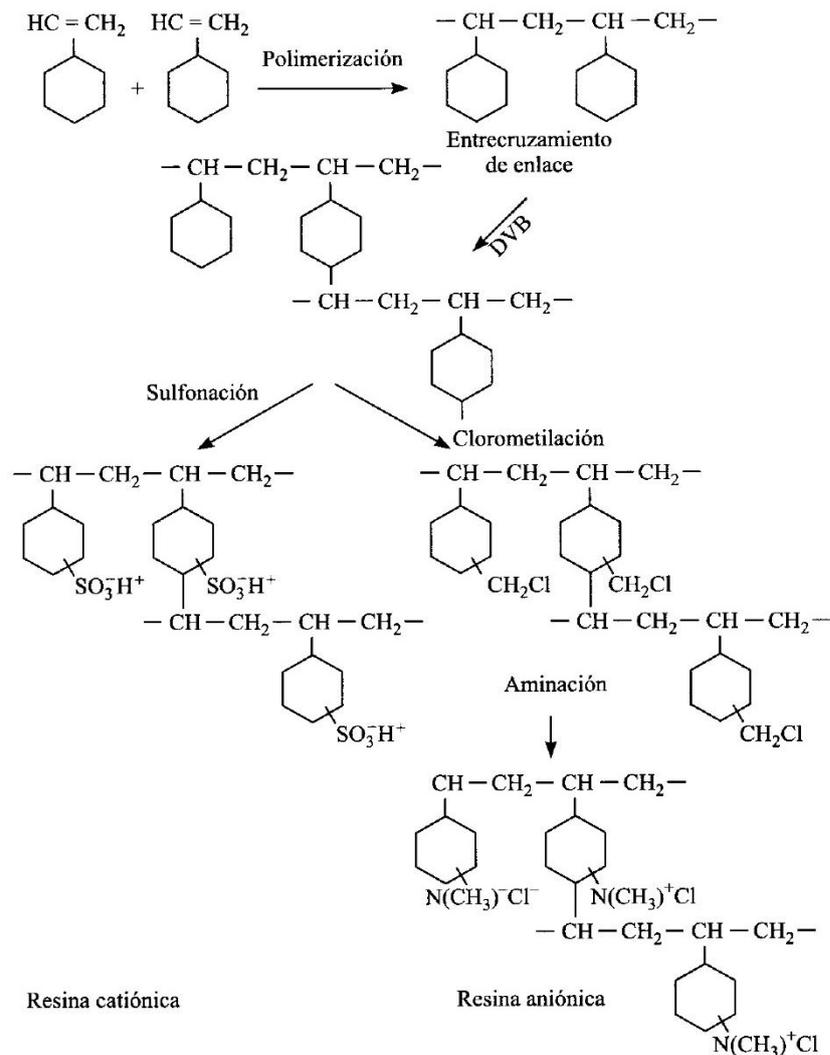


Figura 3. Formación de las resinas aniónicas y catiónicas teniendo como base el estireno.

Fuente. Libro de Operaciones de separación en Ingeniería Química – Métodos de Calculo (Martinez & Martinez, 2004)

Generalmente, la formación de resinas de intercambio iónico comprende productos polímeros con las siguientes características:

- Son insolubles
- Alto peso molecular

Comprende grupos funcionales positivos y negativos

Capacidad para intercambiar iones con una solución

Realizando un enfoque general se considera las resinas de intercambio iónico que poseen una estructura R-H y R-OH donde R es la representación de la estructura molecular orgánica a causa de la polimerización.

Esto quiere decir que si el ion que se intercambiará es positivo se cambiará por otro igual de positivo y de la misma forma se hará con un ion que sea negativo el cual se permutará con otro negativo. La representación de la presente descripción se da a continuación en donde se muestra un intercambio catiónico y aniónico respectivamente.

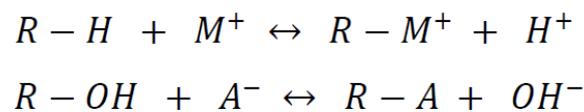


Figura 4. Estructura química del intercambio iónico.

Características tipos de resinas

Se consideran las definiciones de las resinas de acuerdo con lo que comprenden, en este caso se darán dos definiciones pues se tiene:

Resinas catiónicas o ácidas.

Resinas aniónicas o básicas.

Actualmente se emplea, por lo general, resinas de origen sintético en base a copolímeros que reciben un tratamiento para grupos funcionales.

Se conocen los siguientes tipos de resinas:

Catiónica fuerte (CF)

Catiónica débil (CD)

Aniónica fuerte (AF)

Aniónica débil (AD)

Resinas catiónicas fuertes

Entre las diferencias entre estas es que las catiónicas fuertes tienen cierta ventaja en comparación con otras resinas y es que son capaces de trabajar con cualquier valor de pH además que tienen una mayor capacidad que las débiles haciendo que necesiten una regeneración más constante.

Resinas catiónicas débiles

Se caracterizan por presentar la capacidad para poder eliminar aquellos cationes contenidos en el agua. A comparación con los cationes de mayor valencia tienen una mayor selectividad. Se les considera estables y tienen una duración de hasta más de 20 años. El proceso de intercambio empleando esta resina es rápida.

Resinas aniónicas fuertes

Empleados para captar la dureza del agua. Se caracteriza por presentar muchas limitaciones como no poder operar con un pH que sea menor a siete. Sin embargo, posee como ventaja una capacidad para retener iones muy buena incluso el doble de mejor que la resina catiónica fuerte.

Resinas aniónicas débiles

Se caracterizan por ser capaces de eliminar los aniones que se encuentran contenidos en el agua. Tienen por ventaja la capacidad para operar con cualquier número de pH. Asimismo, muestran por desventaja que solo pueden operar hasta una temperatura no mayor de 50°C. Eliminan los aniones de los ácidos fuertes como sulfatos, cloruros, nitratos, etc. La limitación de estas es que no operan a pH superiores a seis. Su capacidad es alta, el doble de las resinas aniónicas fuertes. Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos sosa para su regeneración. No se puede utilizar a pH altos. Pueden sufrir problemas de oxidación o ensuciamiento.

2.2.5 Caudal del agua

Se proponen diversos métodos:

- a) Métodos volumétricos: Considerado como el método más factible para para la medición de caudales pequeros, consiste en medir el tiempo que se toma llenar completamente un recipiente que posee un volumen ya conocido. Se realiza el transporte del agua mediante un canal que se descarga en el recipiente, todo este proceso es medido mediante un cronometro.
- b) Métodos velocidad/superficie: Se mide la velocidad media de la corriente y el área del canal mediante la siguiente formula:

=

Dónde: Q representa el caudal que tiene por unidad m^3/s , A es el área con unidad m^2 y V es el volumen con unidad l/s .

2.2.6 Tiempo de retención hidráulica

Es el tiempo que un volumen de agua residual se mantiene dentro de un tanque o recipiente. Se considera importante pues se emplea para definir el tiempo que se encuentra sometido el sustrato orgánico al tratamiento.

En otras definiciones se puede decir que es el tiempo que permanece el agua dentro de un sistema.

= /

2.3 Bases filosóficas

De acuerdo con el avance de la historia, el agua ha sido una necesidad fundamental para su sobrevivencia, el agua, es el nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno H₂O. Los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico que representaba a todas las sustancias líquidas. Los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII.

El agua es usada ampliamente en la vida diaria, se puede decir que es el recurso natural máspreciado y el más indispensable de nuestro planeta; donde la encontramos en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

La experiencia ha establecido con bastante precisión especificaciones definitivas para satisfacer los requisitos de agua en la mayoría de las industrias; pero por razones técnicas se debe utilizar aguas naturales que contienen siempre impurezas

El agua es un líquido incoloro e inodoro, su fórmula química es H₂O (HOH) y está compuesta de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, el agua químicamente pura es difícil de encontrar debido a que es un solvente universal, porque muchas sustancias se disuelven en ella.

A causa de esta propiedad el agua se contamina frecuentemente con las sustancias con las que entra en contacto.

El investigador Piñon en el 2001 recoge comentarios de Antonio Gramsci, quien considera que la tanto la naturaleza como el hombre dependen de su interacción para mantenerse. De acuerdo con este pensamiento es que surge su incógnita de ¿Qué pasa con el hombre? Con la cual busca una respuesta que le permita comprender cuál es el problema del hombre que ha permitido que se genera un cambio en su esencia pasando de ser el cuidador al destructor del ambiente en el que se desempeña.

García (2006) en su artículo “Filosofía y Medio Ambiente, y su impacto cultural en las conductas humanas, la administración y economía de los bienes” define a la contaminación ambiental como la ignorancia que ha surgido en el hombre debido a los actos que viene realizando en el presente. Asimismo, considera que es el antropocentrismo el factor causante de tal problemática pues el hombre solo se encuentra enfocado en mostrar su superioridad ignorando los efectos negativos que está causando a la naturaleza.

2.4 Definición de términos básicos

Ablandador de agua

Unidad que permite la eliminación de los iones de magnesio y calcio contenidos dentro de un volumen con tiempo definido. Se le considera como un equipo que permite que se le reduzca el contenido de sales minerales al agua.

Agua Dura

Se le considera con esta denominación al agua que presenta en su composición sales como el calcio y magnesio.

Agua de consumo humano

Agua que se ve destinada para ser consumida por las personas para beber o emplearlas en actividades domésticas.

Agua tratada

Agua que pasa por diversos procesos químicos, físicos o biológicos para adquirir aptitud para ser consumida.

Agua Subterránea

Agua que se transporta por el subsuelo y que llega a la superficie por medio de manantiales o vertientes.

Alcalinidad

Capacidad que posee el agua para neutralizar a los ácidos. La alcalinidad depende de factores como la composición que posee el agua, la temperatura que demuestra y el pH.

Conductividad eléctrica

Capacidad que tiene el agua para transportar corriente eléctrica dentro de su contenido, esto depende de los iones disueltos que presente, en caso de resinas es para demostrar la existencia de actividad de retención de los iones calcio y magnesio (permite la observación de la calidad de trabajo de la resina obteniéndose un agua libre de iones de carga positiva).

Dureza

Comprende la presencia y concentración de cationes los cuales son iones metálicos positivos, son fundamentales para determinar la calidad del agua.

Dureza sintética en el agua

Es la disolución preparada por el investigador con las concentraciones requeridas para la investigación.

Oxígeno Disuelto

Es un factor fundamental pues permite la supervivencia de la fauna y flora acuática. Tanto las plantas como animales y microorganismo requieren de oxígeno lo cual es distribuido correctamente solo si existe un buen parámetro de oxígeno disuelto.

PH (Potencial de Hidrógeno)

Parámetro que define el punto de acidez que muestra el agua, comprende una escala que va desde el 1 hasta el 14. Un número menor demuestra mayor acidez mientras que un número mayor indica una mayor alcalinidad. En el caso de las resinas nos permite visualizar que están trabajando en óptimas condiciones de extracción de los iones calcio y magnesio.

Temperatura

Tiene gran influencia en la calidad del agua pues se considera la relación entre temperatura y solubilidad de sales y gases, esto hace referencia a que mientras se detecte una mayor temperatura quiere decir que habrá una mayor solubilidad de iones y una menor solubilidad de gases.

Turbiedad

Medición del grado de transparencia que pierde el agua debido a la presencia de residuos sólidos.

EDTA

Ácido etiléndiaminotetracético. La sal de sodio es la forma usual de este material quelante.

PPM

Se define como el número de partes de soluto que están contenidas en un millón de partes de solución y se puede calcular de 2 formas.

En masa:

$$= \frac{\text{masa de soluto}}{\text{masa de solución}} \times 10^6 \text{ (a)}$$

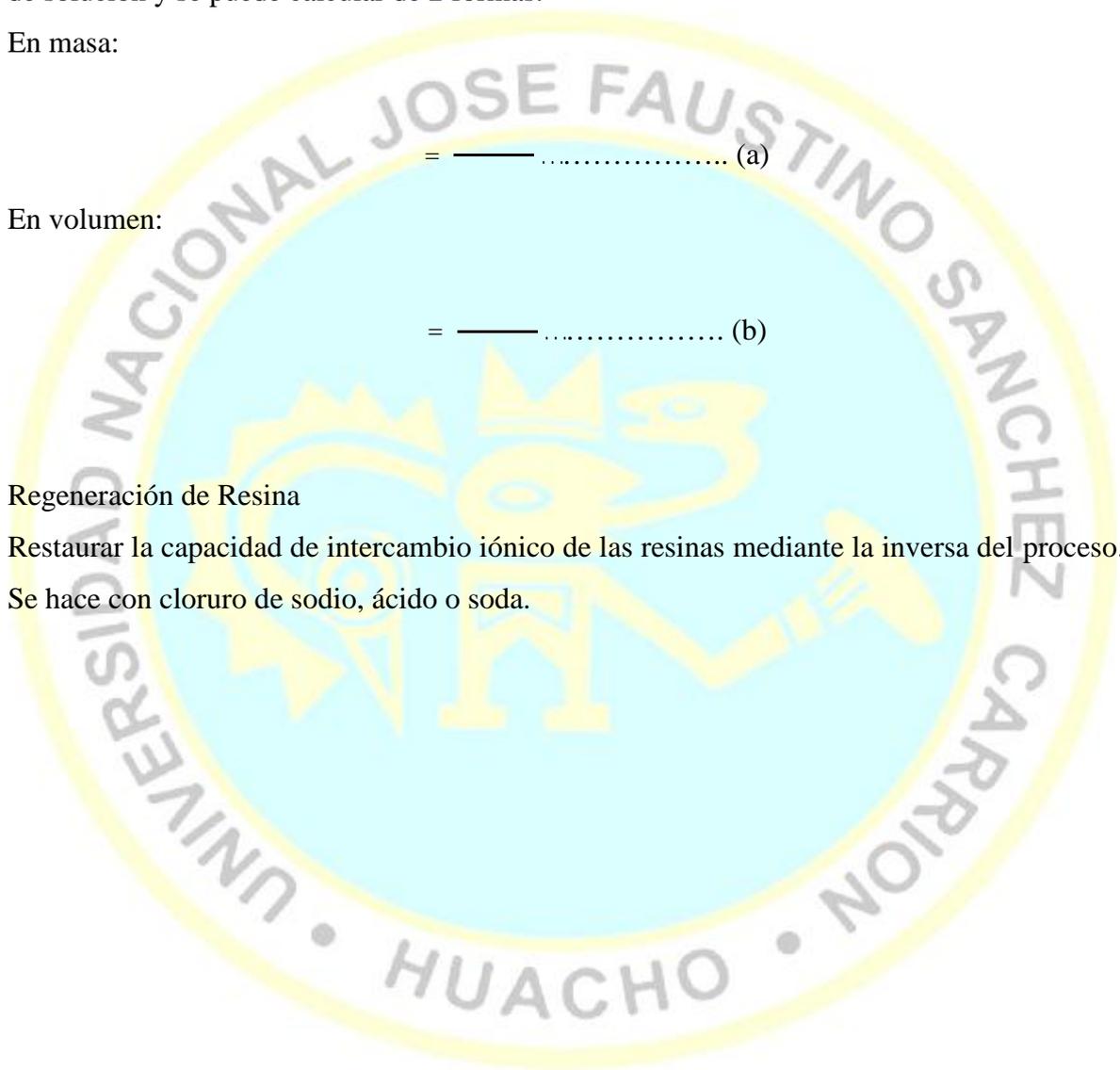
En volumen:

$$= \frac{\text{volumen de soluto}}{\text{volumen de solución}} \times 10^6 \text{ (b)}$$

Regeneración de Resina

Restaurar la capacidad de intercambio iónico de las resinas mediante la inversa del proceso.

Se hace con cloruro de sodio, ácido o soda.



2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

El tiempo de retención hidráulica y dureza inicial si influye en la remoción de dureza sintética en aguas.

2.5.2 Hipótesis específicas

La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica si optimizara el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas.

La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica si optimizara el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas.

2.6 Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
V. INDEPENDIENTE.	Tiempo de Retención	Minutos: 5, 10, 15
Condiciones de operación	Dureza Inicial	Concentración en ppm: C ₁ . 50 C ₂ . 150 C ₃ . 250 C ₄ . 350
V. DEPENDIENTE Remoción de dureza	-Remoción de dureza cálcica. -Remoción de dureza magnésica	% (Porcentaje) % (Porcentaje)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Esta investigación tiene un diseño experimental de tipo aplicativo, pertenece al diseño de experimentos puros de enfoque cuantitativo, en el estudio se evaluó la influencia de la resina Amberlite IR-120 para evaluar la retención hidráulica en la remoción de dureza sintética en aguas para mejorar el nivel de dureza total, dureza cálcica y dureza magnésica, en aguas sintéticas, tomando en cuenta las diferentes retenciones hidráulicas.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Estará constituida por las aguas de dureza sintética preparadas a nivel laboratorio elaboradas por el autor.

3.2.2 Muestra

Estará constituido por aguas de dureza sintéticas de: 50ppm, 150 ppm, 250 ppm., 350 ppm.

3.3 Técnicas de recolección de datos

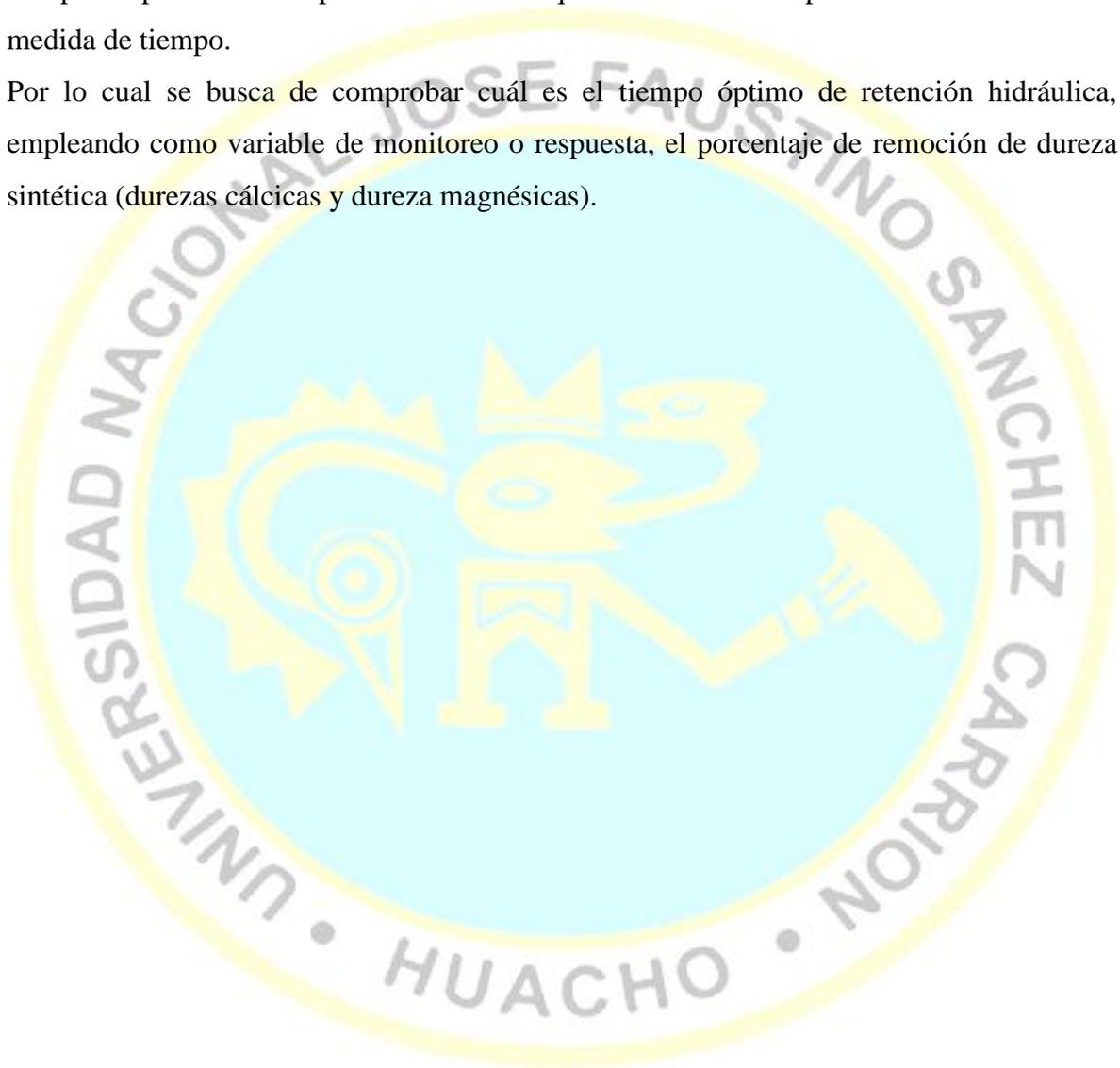
Se empleará la observación, esta técnica se empleará para medir los tiempos de retención hidráulica de las aguas sintéticas, midiendo la dureza inicial y la dureza final. Registros, esta técnica será empleada para poder registrar todos los datos de volúmenes, concentraciones, tiempos, dureza inicial y dureza final.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Con la finalidad de poder determinar la existencia de diferencias en los resultados iniciales versus los resultados finales de remoción de Dureza realizara un análisis de varianza empleando el software STATGRAPHICS Centurión XVI y Microsoft Excel 2019.

Para poder determinar el tiempo de retención hidráulica se empleará un modelo de dos factores, estos factores contemplan 4 concentraciones de Dureza sintética y 4 niveles de tiempo respectivamente para Tratamiento que serán hallados por medio del conteo o medida de tiempo.

Por lo cual se busca de comprobar cuál es el tiempo óptimo de retención hidráulica, empleando como variable de monitoreo o respuesta, el porcentaje de remoción de dureza sintética (durezas cálcicas y dureza magnésicas).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Para la presente investigación se empleó la formula en volumen para realizar los cálculos de dureza sintética, para:

$$= \frac{\text{---}}{\text{---}} \dots\dots\dots (b)$$

En el caso de la dureza cálcica:

50 ppm Ca	Se utilizaron	50 mg/L de Calcio
150 ppm Ca	Se utilizaron	150 mg/L de Calcio
250 ppm Ca	Se utilizaron	250 mg/L de Calcio
350 ppm Ca	Se utilizaron	350 mg/L de Calcio

Fuente: elaboración propia

En el caso de la dureza magnésica:

50 ppm Mg	Se utilizaron	50 mg/L de Magnesio
150 ppm Mg	Se utilizaron	150 mg/L de Magnesio
250 ppm Mg	Se utilizaron	250 mg/L de Magnesio
350 ppm Mg	Se utilizaron	350 mg/L de Magnesio

Fuente: elaboración propia

En el caso de la dureza total (**50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm**):

25 ppm Ca - 25 ppm Mg	Se utilizaron	25 mg/L de Calcio - 25 mg/L de Magnesio
75 ppm Ca - 75 ppm Mg	Se utilizaron	75 mg/L de Calcio - 75 mg/L de Magnesio
125 ppm Ca - 125 ppm Mg	Se utilizaron	125 mg/L de Calcio - 125 mg/L de Magnesio
175 ppm Ca - 175 ppm Mg	Se utilizaron	175 mg/L de Calcio - 175 mg/L de Magnesio

Fuente: elaboración propia

Los resultados se presentan en tablas y gráficos y están ordenados de manera secuencial de acuerdo con el desarrollo del trabajo d investigación.

Tabla 2. Caudal en los sistemas a emplear

	Caudal
Caudal 1	3,3 mL/s
Caudal 2	1,7 mL/s
Caudal 3	1,1 mL/s

Fuente: Elaboración propia

Cada uno de estos caudales se empleó en los tratamientos con las diferentes durezas sintéticas elaboradas en laboratorio.

Tabla 3. Tiempo de retención hidráulica en los sistemas a emplear

	Tiempo
TRH 1	5 minutos
TRH 2	10 minutos
TRH 3	15 minutos

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas el caudal se procedió a determinar el tiempo de retención hidráulica para ser aplicados en las diferentes durezas sintéticas elaboradas en laboratorio.

Tiempo de retención hidráulica (5, 10 y 15 minutos) de la Dureza Sintética Total en concentraciones de (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm).

Tabla 4. Concentración de dureza inicial (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 5 minutos

Concentración dureza sintética Inicial (ppm).	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza (ppm)	Concentración de Dureza Final
50	5	43,8	6,2
150	5	131	19,0
250	5	219	31
350	5	308	42

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 3, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 5 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza del 87,6% en promedio, quedando con una dureza residual de 12,4 % en promedio.

Tabla 5. Concentración de dureza inicial (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 10 minutos

Concentración dureza sintética Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza (ppm)	Concentración de Dureza Final
50	10	45,9	4,1
150	10	138,2	11,8
250	10	229,9	20,1
350	10	321,7	28,3

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 4, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 10 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza del 92% en promedio, quedando con una dureza residual de 8 % en promedio.

Tabla 6. Concentración de dureza inicial (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 15 minutos.

Concentración dureza sintética Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza (ppm)	Concentración de Dureza Final
50	15	48,6	1,4
150	15	145,8	4,2
250	15	243	7
350	15	340,2	9,8

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 5, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 15 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza del 97,2% en promedio, quedando con una dureza residual de 8 % en promedio.

Tiempo de retención hidráulica (5, 10 y 15 minutos) de la Dureza Sintética Cálcica en concentraciones de (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm).

Tabla 7. Concentración de dureza cálcica (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 5 minutos.

Concentración dureza sintética cálcica Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza Cálcica (ppm)	Concentración de Dureza cálcica final (ppm)
50	5	43,8	6,2
150	5	131,4	18,6
250	5	219	31
350	5	306,6	43,4

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 6, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 5 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza cálcica del 87,6% en promedio, quedando con una dureza cálcica residual de 12,4 % en promedio.

Tabla 8. Concentración de dureza cálcica (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 10 minutos.

Concentración dureza sintética Cálcica Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza Cálcica (ppm)	Concentración de Dureza cálcica final (ppm)
50	10	46	4
150	10	138	12
250	10	230	20
350	10	322	28

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 7, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 10 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza cálcica del 92% en promedio, quedando con una dureza cálcica residual de 8 % en promedio.

Tabla 9. Concentración de dureza cálcica (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 15 minutos

Concentración dureza sintética Cálcica Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza Cálcica (ppm)	Concentración de Dureza cálcica final (ppm)
50	15	48,6	1,4
150	15	145,8	4,2

250	15	243	7
350	15	340,2	9,8

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 8, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 15 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza cálcica del 97,2% en promedio, quedando con una dureza cálcica residual de 8 % en promedio.

Tiempo de retención hidráulica (5, 10 y 15 minutos) de la Dureza Sintética Magnésica en concentraciones de (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm).

Tabla 10. Concentración de dureza magnésica (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 5 minutos.

Concentración dureza sintética magnésica Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza magnésica (ppm)	Concentración de Dureza magnésica final (ppm)
50	5	43,8	6,2
150	5	131,4	18,6
250	5	219	31
350	5	306,6	43,4

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 10, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 5 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza magnésica del 87,6% en promedio, quedando con una dureza magnésica residual de 12,4 % en promedio.

Tabla 11. Concentración de dureza magnésica (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 10 minutos.

Concentración dureza sintética magnésica Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza magnésica (ppm)	Concentración de Dureza magnésica final (ppm)
50	10	46	4
150	10	138	12
250	10	230	20
350	10	322	28

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 11, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 10 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza magnésica del 92% en promedio, quedando con una dureza magnésica residual de 8 % en promedio.

Tabla 12. Concentración de dureza magnésica (50 ppm, 150ppm, 250ppm y 350ppm) y final en un tiempo de retención de 15 minutos

Concentración dureza sintética magnésica Inicial (ppm)	Tiempo de retención Hidráulica (minutos)	Concentración de Remoción de dureza magnésica (ppm)	Concentración de Dureza magnésica final (ppm)
50	15	48,6	1,4
150	15	145,8	4,2
250	15	243	7
350	15	340,2	9,8

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 12, cada una de las durezas sintéticas se la aplica el tiempo de retención hidráulica de 15 minutos y se observa que existe un nivel de remoción de dureza magnésica del 97,2% en promedio, quedando con una dureza magnésica residual de 8 % en promedio.

4.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis General

H0. El tiempo de retención hidráulica y dureza inicial no influye en la remoción de dureza sintética en aguas.

H1. El tiempo de retención hidráulica y dureza inicial si influye en la remoción de dureza sintética en aguas.

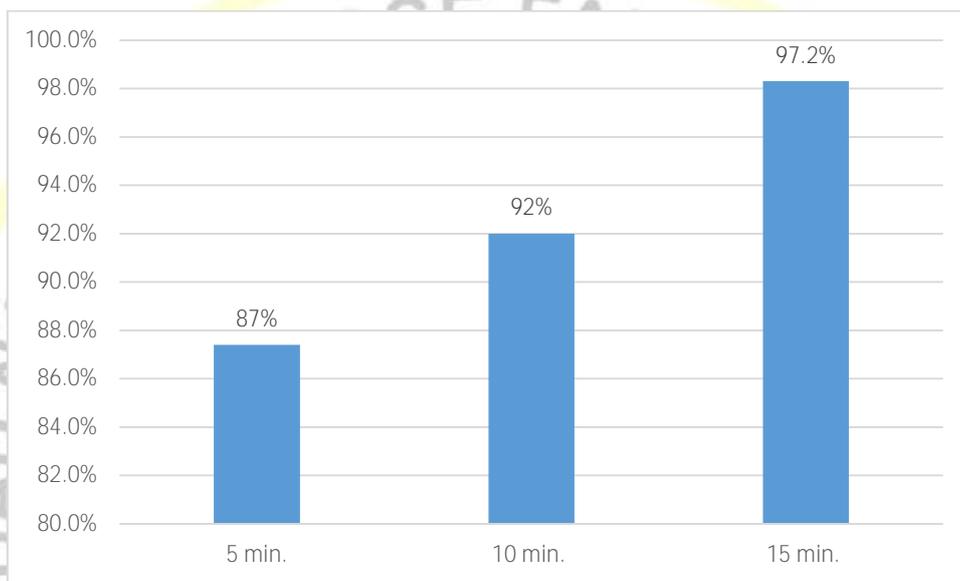


Figura 5. Tiempos de retención hidráulica y eficiencia de remoción de dureza sintética.

Según lo que se puede evidenciar en la retención hidráulica y la eficiencia de remoción de dureza sintética de las aguas se observa que el tiempo es un factor fundamental al momento de evaluar qué cantidad de dureza se retuvo por parte de la resina empleada para el experimento. Tal como se observa, a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de retención de dureza sintética, encontrando que en 5 minutos se tiene una remoción de 87%, a 10 minutos se tiene un porcentaje de remoción de 92% y a 15 minutos se obtuvo 97,2%, quedando demostrado que cuando mas lento el proceso se tiene una mayor retención de dureza total de las aguas sintéticas.

Por lo expuesto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis específica 1

H0. La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica no optimizara el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas.

H1. La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica si optimizara el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas.

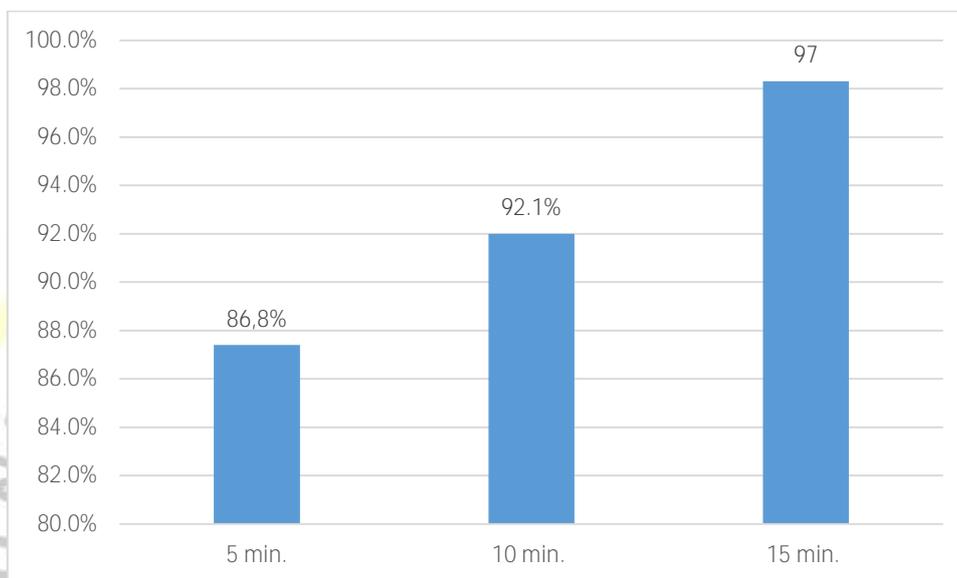


Figura 6. Tiempos de retención hidráulica y eficiencia de remoción de dureza cálcica.

Según lo que se puede evidenciar en la retención hidráulica y la eficiencia de remoción de dureza cálcica de las aguas se observa que el tiempo es un factor fundamental al momento de evaluar qué cantidad de dureza cálcica se retuvo por parte de la resina empleada para el experimento. Tal como se observa, a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de retención de dureza sintética cálcica, encontrando que en 5 minutos se tiene una remoción de 86,8%, a 10 minutos se tiene un porcentaje de remoción de 92,1% y a 15 minutos se obtuvo 97%, quedando demostrado que cuando más lento el proceso, se tiene una mayor retención de dureza cálcica de las aguas sintéticas. La varianza en los valores son mínimos, pero pueden deberse al error humano al momento de realizar la experimentación.

Por lo expuesto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis específica 2

H0. La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica no optimizara el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas.

H1. La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica si optimizara el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas.

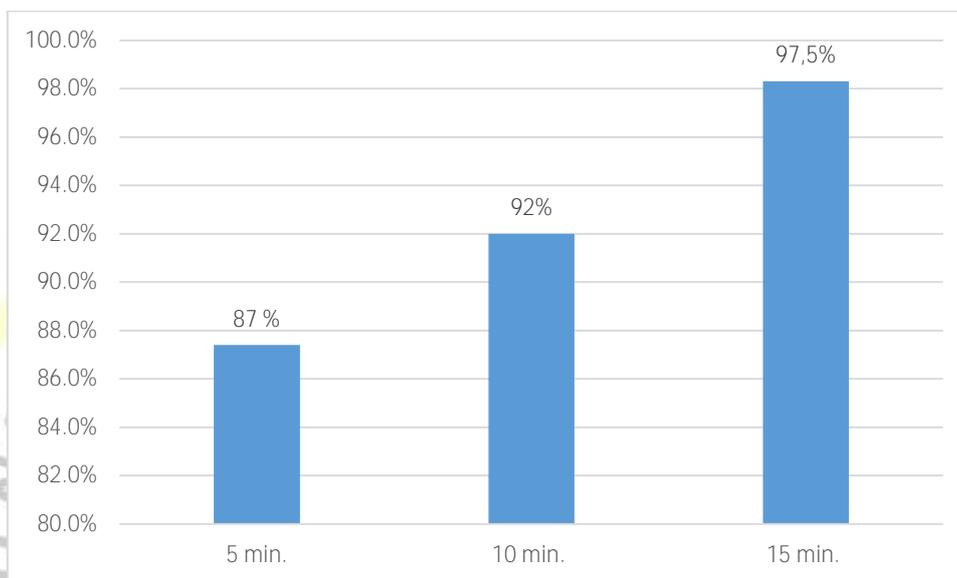


Figura 7. Tiempos de retención hidráulica y eficiencia de remoción de dureza magnésica.

Según lo que se puede evidenciar en la retención hidráulica y la eficiencia de remoción de dureza magnésica de las aguas se observa que el tiempo es un factor fundamental al momento de evaluar qué cantidad de dureza magnésica se retuvo por parte de la resina empleada para el experimento. Tal como se observa, a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de retención de dureza sintética magnésica, encontrando que en 5 minutos se tiene una remoción de 87%, a 10 minutos se tiene un porcentaje de remoción de 92% y a 15 minutos se obtuvo 97,5%, quedando demostrado que cuando más lento el proceso, se tiene una mayor retención de dureza magnésica de las aguas sintéticas. La varianza en los valores es mínima, pero pueden deberse al error humano al momento de realizar la experimentación.

Por lo expuesto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

De acuerdo con lo encontrado, se evidencia que el tiempo de retención hidráulica y la eficiencia de remoción de dureza sintética de las aguas es un factor fundamental al momento de evaluar qué cantidad de dureza se retuvo por parte de la resina empleada en cualquier experimento. Tal como se observa a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de remoción de dureza sintética, esto se evidencia con los datos de para 5 minutos obtuvo una remoción de 87%, para 10 minutos obtuvo una remoción de 92 y para 15 minutos obtuvo una remoción de 97,2%. En la remoción de dureza cálcica, se evidencia en los datos que en 5 minutos obtuvo una remoción de 86%, para 10 minutos obtuvo una remoción de 91 y para 15 minutos obtuvo una remoción de 96,8%, y en la remoción de dureza magnésica, se evidencia en los datos que en 5 minutos obtuvo una remoción de 87,4%, para 10 minutos obtuvo una remoción de 92 y para 15 minutos obtuvo una remoción de 98,3%, esto se corrobora en otras investigación en las cuales parte de los resultados que llegaron a obtener son similares a los obtenidos en esta investigación. Tal como se evidencia en la investigación de Satalaya (2015), el cual logró observar qué existía una mayor remoción de residuos al mantener por un mayor tiempo el efluente en el tratamiento, el autor pudo evidenciar que cuándo el efluente pasaba muy rápido por Las Pozas de oxidación el tratamiento era ineficiente ocasionando que el producto final no esté acorde a los estándares que se requieren para su expulsión al medio ambiente, dile a misma forma se evidencia en nuestra investigación que el tiempo de retención hidráulica es muy importante y es de Vital influencia para la remoción de dureza sintética, ya que al realizar los experimentos se pudo evidenciar que cuanto menos es el tiempo de retención hidráulica existe una menor remoción de dureza sintética Y cuándo se le extiende el tiempo de retención hidráulica mayor es la remoción de dureza sintética.

Asimismo, Ramos (2017), realizó una investigación en la cual empleo la misma resina que nosotros en su experimentación, obteniendo resultados similares en cuanto a la eficiencia de remoción de dureza, sin embargo, el investigador no aplicó tiempo de retención

hidráulica, sin embargo, la eficiencia de la resina es similar o cercana a la obtenida en el experimento realizado por el tesista.

Es por ello que ante lo expuesto se afirma que las investigaciones que se llegaron a realizar sientan las bases como para poder determinar qué existe una necesidad de hacer más eficiente el proceso de remoción de dureza aplicando diversos tiempos de retención hidráulica para alcanzar mayores volúmenes de agua en el tratamiento.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Primera conclusión:

Se concluye que a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de remoción de dureza sintética, esto se evidencia con los resultados obtenidos para los diferentes tiempos de retención hidráulica, tal es así que para 5 minutos obtuvo una remoción de 87%, para 10 minutos obtuvo una remoción de 92% y para 15 minutos obtuvo una remoción de 97,2%, esto nos permite concluir que la investigación genera un aporte sustancial como precedente para hacer más eficiente el sistema de remoción de dureza, generando mejores diseños para obtener mejores resultados.

Segunda conclusión:

Se concluye que a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de retención de dureza sintética cálcica, encontrando que en 5 minutos se tiene una remoción de 86,8%, a 10 minutos se tiene un porcentaje de remoción de 92,1% y a 15 minutos se obtuvo 97%, quedando demostrado que cuando más lento el proceso, se tiene una mayor retención de dureza cálcica de las aguas sintéticas, esto nos permite concluir que la investigación genera un aporte sustancial como precedente para hacer más eficiente el sistema de remoción de dureza, generando mejores diseños para obtener mejores resultados.

Tercera conclusión:

Se concluye que a mayor tiempo en la retención hidráulica existe una mayor eficiencia de retención de dureza sintética magnésica, encontrando que en 5 minutos se tiene una remoción de 87%, a 10 minutos se tiene un porcentaje de remoción de 92% y a 15 minutos se obtuvo 97,5%, quedando demostrado que cuando más lento el proceso, se tiene una

mayor retención de dureza magnésica de las aguas sintéticas. esto nos permite concluir que la investigación genera un aporte sustancial como precedente para hacer más eficiente el sistema de remoción de dureza, generando mejores diseños para obtener mejores resultados.



6.2 Recomendaciones

- Se recomienda que se realicen mayores estudios de este tipo para lograr generar mejores diseños para la remoción de dureza, y con ello obtener mejores resultados, no solo en la remoción de dureza, sino también en la capacidad de caudal que pueden soportar los sistemas obteniendo una mayor capacidad de tratar mayores cantidades de efluentes.

- Esta investigación se realizó en laboratorio con durezas sintéticas, por lo tanto, se recomienda que se realice las investigaciones llevándolas al campo, obteniendo muestras colectadas en el ambiente, para que se pueda corroborar la efectividad del tratamiento aplicado en la investigación.

- Se recomienda realizar las experimentaciones empleando otros tipos de resinas, aplicando las variables y factores que han influido en esta investigación, con la finalidad de poder corroborar los resultados obtenidos en laboratorio.

- Se recomienda considerar en futuras investigaciones el nivel del recipiente en donde se encuentra albergando la resina al momento en que se realiza el experimento, ya que es un factor fundamental para poder determinar la remoción de dureza.

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

- Stalaya, K. (2015). *Evaluación De La Eficiencia Del Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas En Las Lagunas De Estabilización De La Ciudad De Uchiza*. Universidad Nacional Agraria De La Selva.
- Coronado, M., & Vargas, L. (2018). *Efecto del pH y el tiempo de retención hidráulica durante la biodegradación de cianuro empleando Pseudomonas inmovilizadas en un biofiltro*. Lambayeque: Universidad Pedro Ruiz Gallo. Recuperado el 29 de 06 de 2019, de <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/2661/BC- TES-TMP-1519.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dardel, F. (23 de 01 de 2017). *dardel.info*. (F. d. Dardel, Editor, F. d. Dardel, Productor, & François de Dardel) Recuperado el 15 de 12 de 2017, de dardel.info: http://dardel.info/IX/index_ES.html
- Ecured. (2019). *ecured.cu/EcuRed*. Recuperado el 12 de 08 de 2019, de [EcuRed](http://www.ecured.cu/EcuRed): <https://www.ecured.cu/EcuRed>
- Fondriest. (2019). *fondriest.com*. Recuperado el 12 de 08 de 2019, de [fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/](https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/): <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/>
- García, J. (2006). Filosofía y Medio Ambiente. Su impacto cultural en las conductas humanas, la administración y economía de los bienes. *Empresario Cristiano*, 1-5. Obtenido de http://www.uca.edu.ar/uca/common/grupo57/files/filo_y_medio_amb.pdf
- Jacinto, P., & Rodríguez, I. R. (2017). Recursos Hídricos: Calidad y procesos de gestión en la región. *Luna Azul*, 59-79. Recuperado el 8 de 12 de 2017, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742017000100005&script=sci_abstract&tlng=es
- Morote Seguido, Á. F. (2015). La planificación y gestión del suministro de agua potable en los municipios urbano-turísticos de Alicante. *Cuadernos Geográficos*, 298-320. Recuperado el 08 de 12 de 2017, de

<http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=e3047218-34b1-4a1b-8bb1-53d01cb055b7%40sessionmgr103>

7.2 Fuentes bibliográficas

- Vergara, F. (1984). *Tratamiento de Aguas Industriales*. Lima: Kavi Editores S.A.
- Nunja, J. (2007). *Intercambio Iónico ciclo sodio y blending para mejorar la calidad química del agua potable en el distrito de Huacho*. Huacho: Repositorio Digital de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Recuperado el 25 de 03 de 2018, de <https://core.ac.uk/download/pdf/54212843.pdf>
- Piñon, F. (2001). Filosofía, eticidad y medio ambiente. *Difusión*, 1-5. Recuperado el 18 de 12 de 2017, de www.uam.mx/difusion/revista/nov2001/pinon.pdf
- Barcelo, J. (1976). *Diccionario Terminologico de Química*. España: Alhambra S.A.

7.3 Fuentes hemerográficas

- Generalic, E. (20 de 10 de 2018). *glossary.periodni.com*. Recuperado el 13 de 08 de 2019, de Water hardness: <https://glossary.periodni.com/glossary.php?en=water+hardness>
- Miall, S., & Miall, M. (1953). *Diccionario de Química (SEGUNDA ed.)*. Mexico D.F.: Atlante, S.A.

7.4 Fuentes electrónicas

- Ramya, P., Jagadeesh, A., Tirupathi, E., & Venkateswara, L. (2015). A STUDY ON THE ESTIMATION OF HARDNESS IN GROUND WATER SAMPLES BY EDTA TRITRIMETRIC METHOD. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(6), 4505 - 4507. Obtenido de <http://www.recentscientific.com/sites/default/files/2589.pdf>
- Quora. (16 de 10 de 2018b). *quora.com*. Recuperado el 12 de 12 de 2019, de What-is-hydraulic-retention-time-HRT-in-wastewater-treatment: <https://www.quora.com/What-is-hydraulic-retention-time-HRT-in-wastewater-treatment>

ANEXOS



Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿En qué medida las condiciones de operación del tiempo de retención hidráulica y dureza inicial influyen en la remoción de dureza sintética en aguas?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cómo evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas?</p> <p>¿Cómo evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar las mejores condiciones de Operación del tiempo de retención hidráulica en función a la dureza inicial mediante intercambiador iónico para remoción de dureza sintética en aguas.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas.</p> <p>Evaluar la influencia del tiempo de retención hidráulica para optimizar el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El tiempo de retención hidráulica y dureza inicial si influye en la remoción de dureza sintética en aguas.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica si optimizara el porcentaje de remoción de dureza cálcica en aguas.</p> <p>La evaluación de la influencia del tiempo de retención hidráulica si optimizara el porcentaje de remoción de dureza magnésica en aguas.</p>	<p>V. INDEPENDIENTE.</p> <p>Condiciones de operación</p> <p>V. DEPENDIENTE</p> <p>Remoción de dureza</p>	<p>- Tiempo de Retención</p> <p>- Dureza inicial</p> <p>- Dureza cálcica</p> <p>- Dureza magnésica</p>	<p>Diseño metodológico</p> <p>El diseño de la presente investigación es de naturaleza experimental; porque se realizará más de una medición, durante todo el experimento, en los diferentes tiempos de retención de las aguas de dureza sintética.</p> <p>El trabajo experimental estará dividido en tres etapas:</p> <p>Primero: Medir los tiempos de retención hidráulica, aquí se medirá el tiempo que demora en purificar las aguas sintéticas de acuerdo al volumen de agua que se emplee. Segundo: Se medirá los tiempos de retención hidráulica y evaluar las durezas finales. Tercero: Evaluar las durezas cálcicas y dureza magnésicas finales.</p> <p>Población</p> <p>Estará constituida por las aguas de dureza sintética preparadas a nivel laboratorio elaboradas por el autor.</p> <p>Muestra</p> <p>Estará constituido por aguas de dureza sintéticas de: 50ppm, 150 ppm, 250</p>

				<p>ppm., 350 ppm.</p> <p>Técnicas de recolección de datos Se empleará la observación, esta técnica se empleará para medir los tiempos de retención hidráulica de las aguas sintéticas, midiendo la dureza inicial y la dureza final. Registros, esta técnica será empleada para poder registrar todos los datos de volúmenes, concentraciones, tiempos, dureza inicial y dureza final.</p> <p>Técnicas para el procedimiento de la información Con la finalidad de poder determinar la existencia de diferencias en los resultados iniciales versus los resultados finales de remoción de Dureza realizara un análisis de varianza empleando el software STATGRAPHICS Centurión XVI y Microsoft Excel 2019. Para poder determinar el tiempo de retención hidráulica se empleará un modelo de dos factores, estos factores contemplan 4 concentraciones de Dureza sintética y 4 niveles de tiempo respectivamente para Tratamiento que serán hallados por medio del conteo o medida de tiempo. Por lo cual se busca de comprobar cuál es el tiempo óptimo de retención hidráulica, empleando</p>
--	--	--	--	--

					como variable de monitoreo o respuesta, el porcentaje de remoción de dureza sintética (durezas cálcicas y dureza magnésicas).
--	--	--	--	--	---



Anexo 2. Especificaciones técnicas de la resina empleada.



LENNTECH WATER TREATMENT AND AIR PURIFICATION



info@lenntech.com Tel. +31-152-610-900
www.lenntech.com Fax. +31-152-616-289

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE™ IRI 20 Na
Industrial Grade Strong Acid Cation Exchanger

AMBERLITE IRI20 Na resin is a gel type strongly acidic cation exchange resin of the sulfonated polystyrene type. It is used for water softening (in Na⁺ form) as well as for water demineralisation (in H⁺ form) in co-flow regenerated units. AMBERLITE

IRI20 Na resin is an excellent general purpose cation exchange resin that can be used for a wide variety of industrial water treatment applications including both softening and demineralisation.

PROPERTIES

Physical form _____	Amber spherical beads
Matrix _____	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional group _____	Sulfonate
Ionic form as shipped _____	Na ⁺
Total exchange capacity ^[1] _____	≥ 2.00 eq/L (Na ⁺ form)
Moisture holding capacity ^[1] _____	45 to 50 % (Na ⁺ form)
Shipping weight _____	840 g/L
Particle size	
Uniformity coefficient ^[1] _____	≤ 1.9
Harmonic mean size ^[1] _____	0.600 to 0.800 mm
< 0.300 mm ^[1] _____	2 % max
Maximum reversible swelling _____	Na ⁺ → H ⁺ ≤ 11 %

^[1] Contractual value

Test methods available upon request.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

Maximum operating temperature _____	135 °C
Minimum bed depth _____	700 mm
Service flow rate _____	5 to 40 BV*/h
Regeneration	
Regenerant _____	HCl H ₂ SO ₄ NaCl
Level (g/L) _____	50 to 150 60 to 240 80 to 250
Concentration (%) _____	5 to 8 0.7 to 6 10
Minimum contact time _____	30 minutes
Slow rinse _____	2 BV at regeneration flow rate
Fast rinse _____	2 to 4 BV at service flow rate

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m³ resin

PERFORMANCE

The operating capacity depends on several factors such as the water analysis and the level of regeneration. The data to calculate the operating capacity and the ionic leakage with co-flow regeneration are given in the Engineering Data Sheets: EDS 0262 A, EDS 0264 A and EDS 0265 A.

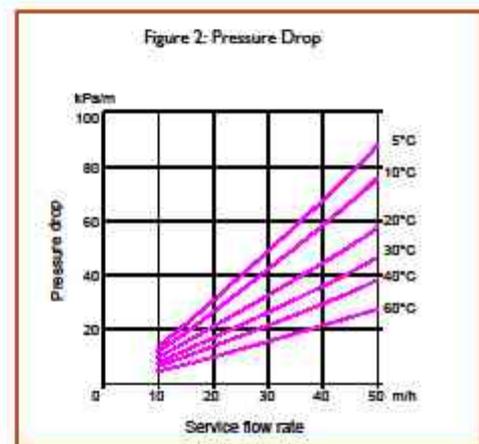
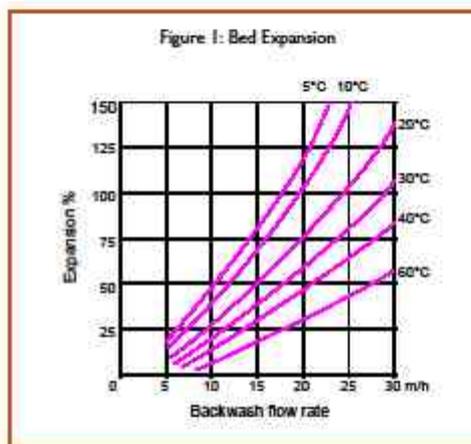
LIMITS OF USE

AMBERLITE IR120 Na resin is suitable for industrial uses. For other specific applications such as pharmaceutical, food processing or potable water applications, it is recommended that all potential users seek advice from Rohm and Haas in order to

determine the best resin choice and optimum operating conditions.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Figure 1 shows the bed expansion of AMBERLITE IR120 Na resin, as a function of backwash flow rate and water temperature. Figure 2 shows the pressure drop data for AMBERLITE IR120 Na resin, as a function of service flow rate and water temperature. Pressure drop data are valid at the start of the service run with clear water and a correctly classified bed.



ROHM HAAS

AMBERLITE is a trademark of Rohm and Haas Company and its affiliates, Philadelphia, U.S.A.
Ion exchange resins and polymeric adsorbents, as produced, contain by-products resulting from the manufacturing process. The user must determine the extent to which organic by-products must be removed for any particular use and establish techniques to insure that the appropriate level of purity is achieved for that use. The user must ensure compliance with all product safety standards and regulatory requirements governing the application. Except where specifically otherwise stated, Rohm and Haas Company does not recommend its ion exchange resins or polymeric adsorbents, as supplied, as being suitable or appropriately pure for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information. Acidic and basic regenerant solutions are corrosive and should be handled in a manner that will prevent eye and skin contact. Nitric acid and other strong oxidizing agents can cause explosive type reactions when mixed with Ion Exchange resins. Proper design of process equipment to prevent rapid buildup of pressure is necessary if use of an oxidizing agent such as nitric acid is contemplated. Before using strong oxidizing agents in contact with Ion Exchange Resins, consult sources knowledgeable in the handling of these materials.

Rohm and Haas Company makes no warranties, either expressed or implied as to the accuracy or appropriateness of these data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective user determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials over suggestions for any use prior to their adoption. Suggestions for uses of our products in violation of any patent or its permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company and its affiliates. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.

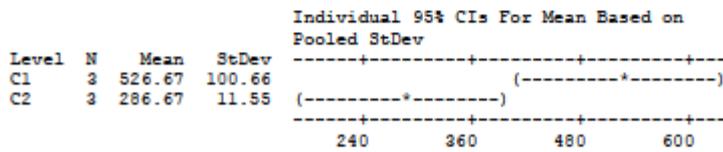
UNNICH Water treatment and Air purification

Anexo 3. Corrida Estadística

One-way ANOVA: C1; C2

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	86400	86400	16.83	0.015
Error	4	20533	5133		
Total	5	106933			

S = 71.65 R-Sq = 80.80% R-Sq(adj) = 76.00%



Pooled StDev = 71.65

Grouping Information Using Fisher Method

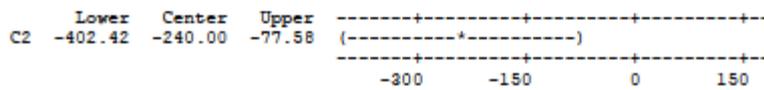
N	Mean	Grouping
C1	526.67	A
C2	286.67	B

Means that do not share a letter are significantly different.

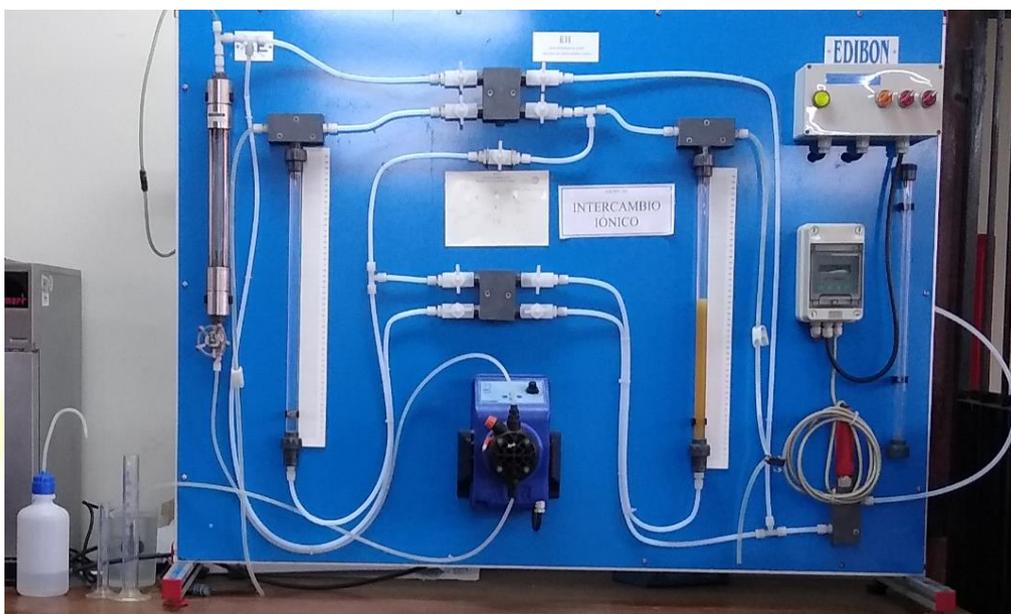
Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons

Simultaneous confidence level = 95.00%

C1 subtracted from:



		RESI1	RESI2	FITS1	FITS2
420	280	-106.667	-6.6667	526.667	286.667
620	300	93.333	13.3333	526.667	286.667
540	280	13.333	-6.6667	526.667	286.667



Nota: Intercambiador Iónico



Nota: realizando elaboración de muestras



Nota: Titulación de las muestras.

