

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES



ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA
PUTACOCCHA, REGIÓN JUNIN

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

Fernandez-Prada Acher, Jairton Alfredo
Raymundo Enriquez, Daniel Alexander
Rodríguez Castillo, Rosa Amelia

ASESOR: MG. Máximo Fidel Baca Neglia

Callao, Mayo, 2019

PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES

COMISION DE GRADOS Y TITULOS
ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL
TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
N° 006-2019-JEDT-FIARN

Siendo las 12:50 horas del día viernes 14 de junio de 2019, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II N° 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA DE PUTACOCCHA, REGIÓN JUNÍN" presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Jairton Alfredo Fernández-Prada Acher, Daniel Alexander Raymundo Enriquez y Rosa Amelia Rodríguez Castillo.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 028-2019-D-FIARN de fecha 25 de mayo de 2019, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío	Presidenta
Dr. Jorge Quintanilla Alarcón	Secretario
Lic. Janet Mamani Ramos	Vocal
Dr. Máximo Fidel Baca Neglia	Asesor

Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **BUENO** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 14:00 horas del día viernes 14 de junio de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARÍA GENERAL
EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
CERTIFICA: Que la presente es copia fiel del original. Se expide a solicitud del interesado para los fines que juzgue convenientes.
Callao, 14 de JUNIO de 2019, día 28

 MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío Presidenta	 Dr. Jorge Quintanilla Alarcón Secretario
 Lic. Janet Mamani Ramos Vocal	 Dr. Máximo Fidel Baca Neglia Asesor



Mg. Carlos Alberto Jurado Cabello
Secretario General

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo y sacrificio para el desarrollo de la presente investigación está dedicado a nuestros padres quienes son un apoyo incondicional para nuestro desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias que nos brindaron un apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto, siendo partícipes de los viajes de campo.

Al Ing. Máximo Baca Neglia, por su asesoría, paciencia y confianza para el buen desarrollo de la presente investigación.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao por facilitarnos sus laboratorios para el desarrollo de los ensayos y pruebas de la presente investigación.

INDICE

RESUMEN	9
ABSTRAC	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPITULO I	12
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1 Identificación del problema	12
1.2 Formulación del problema	12
1.3 Objetivos de la investigación.	12
1.4 Justificación	13
1.5 Importancia	13
CAPITULO II	15
MARCO TEORICO	15
2.1. Antecedentes del estudio	15
2.2. Bases Legales	17
2.3. Bases Teóricas	18
2.3.1. Dureza del Agua Superficial	18
2.3.2. Resinas de Intercambio Iónico	19
2.3.3. Ablandamiento por Intercambio Iónico	22
2.3.4. Calidad de agua de alimentación para un caldero	24
2.4. Definiciones de términos Básicos	27
CAPÍTULO III	29
VARIABLES E HIPÓTESIS	29
3.1. Variables de la investigación	29
3.2. Operacionalización de variables	29
3.3. Hipótesis General	31
CAPITULO IV	32
METODOLOGIA	32
4.1. Tipo de investigación	32
4.2. Diseño de la investigación	32
4.3. Población y muestra	32
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
4.5. Procedimientos de recolección de datos	34
4.6. Procedimientos estadísticos y análisis de datos	42
CAPITULO V	44
RESULTADOS	44
CAPITULO VI	59

DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
CAPITULO VII	60
CONCLUSIONES	60
CAPITULO VIII	61
RECOMENDACIONES	61
CAPITULO IX	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
APENDICE	66
ANEXOS	73
ANEXO 1: Matriz de Consistencia	74
ANEXO 2: Ficha Técnica Resina Amberlite IR 120 ciclo sodio	75
ANEXO 3: Condiciones de Operación Resina Amberlite IR 120	76
ANEXO 4: Procedimiento de Análisis	79
ANEXO 5: Registro de Ensayos	82

TABLAS DE CONTENIDO

TABLA 2.1:	Clasificación de la dureza del agua para sistemas intercambiadores de calor.
TABLA 2.2:	Características del agua de alimentación de calderos
TABLA 3.1:	Operacionalización de las variables
TABLA 4.1:	Conservación y preservación de muestras de agua
TABLA 4.2:	Puntos de muestreo de la laguna Putacocha
TABLA 4.3:	Técnicas analíticas
TABLA 4.4:	Tipos de regenerante
TABLA 5.1:	Calidad del agua de la laguna Putacocha
TABLA 5.2:	Condiciones de operación del sistema ablandador
TABLA 5.3:	Resultados de calidad de la muestra M-ILP antes del ablandamiento
TABLA 5.4:	Resultados de calidad de la muestra M-ILP después del ablandamiento
TABLA 5.5:	Resultados de calidad de la muestra M-SLP antes del ablandamiento
TABLA 5.6:	Resultados de calidad de la muestra M-SLP después del ablandamiento
TABLA 5.7:	Resultados de calidad de la muestra M-DLP antes del ablandamiento
TABLA 5.8:	Resultados de calidad de la muestra M-DLP después del ablandamiento
TABLA 5.9:	Resultados del tiempo de saturación

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo producir agua de calidad que cumpla los estándares internacionales para su uso en un caldero de 5MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha mediante un sistema ablandador con resina Amberlite IR 120.

Se diseña un sistema ablandador con 2.56 metros cúbicos de resina catiónica para operar un caudal de 25.6 metros cúbicos por hora y un tiempo de saturación de 21.23 horas para ablandar el agua superficial de la laguna Putacocha y producir agua de calidad.

El análisis del ablandamiento se realizó mediante un sistema ablandador a escala piloto, para ello se considera muestras de agua recogidas al ingreso, salida y a 100 metros de la desembocadura de la Laguna Putacocha ubicada en la región Junín del Perú.

Para el cumplimiento de los estándares internacionales para el agua de alimentación en calderos, la presente investigación considera evaluar los parámetros de pH, alcalinidad, dureza total, dureza cálcica y dureza magnésica.

El análisis de la muestra recogida al ingreso de la laguna Putacocha tuvo una eficiencia del ablandamiento del 98.90 % con una capacidad útil de operación de 1.292 eq/l y un tiempo de saturación real de 25.50 horas.

El análisis de la muestra recogida a la salida de la laguna Putacocha tuvo una eficiencia del ablandamiento del 98.50 % con una capacidad útil de operación de 1.285 eq/l y un tiempo de saturación real de 23.80 horas; finalmente, el análisis de la muestra recogida a 100 metros de la desembocadura de la laguna tuvo una eficiencia del ablandamiento del 98.55 % con una capacidad útil de operación de 1.275 eq/l y un tiempo de saturación de 16.20 horas.

Con los resultados obtenidos se determina que el sistema ablandador permite producir agua de calidad para un caldero de 5 MW cumpliendo con los requisitos internacionales de dureza en el agua para alimentación de calderos establecido por la Norma Británica BS – 2486.

ABSTRAC

The objective of this research is to produce quality water that meets international standards for use in a 5MW cauldron from the surface water of the Putacocha lagoon through a softener system with Amberlite IR 120 resin. A softener system with 2.56 cubic meters of cationic resin has been designed to operate a flow rate of 25.6 cubic meters per hour and a saturation time of 21.23 hours to soften the surface water of the lagoon.

The softening analysis was carried out using a pilot-scale softener system, for which water samples collected at the entrance, exit and 100 meters from the mouth of the Putacocha Lagoon located in the Junín region of Peru are considered.

In order to comply with the international standards for boiler feed water, the present investigation considers evaluating the parameters of pH, alkalinity, total hardness, calcium hardness and magnesium hardness.

The analysis of the sample collected at the entrance of the Putacocha lagoon had a softening efficiency of 98.90% with a useful operating capacity of 1,292 eq / l and a real saturation time of 25.50 hours. The analysis of the sample collected at the outlet of the Putacocha lagoon had a softening efficiency of 98.50% with a useful operating capacity of 1,285 eq / l and a real saturation time of 23.80 hours; finally, the analysis of the sample collected 100 meters from the mouth of the lagoon had a softening efficiency of 98.55% with a useful operating capacity of 1,275 eq / l and a saturation time of 16.20 hours.

With the results obtained it is determined that the softener system allows the production of quality water for a 5 MW cauldron complying with the international hardness requirements in the water for cauldron feeding established by British Standard BS – 2486.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el crecimiento industrial aprovecha las fuentes de agua subterránea y superficial para la generación de energía en estado de vapor y posterior uso en los procesos industriales; sin embargo, el agua utilizada presenta impurezas las cuales al no ser tratadas eficientemente generan problemas en los calderos debido al incrustamiento de sales de dureza en las paredes internas, reduciendo la eficiencia de operación de los equipos térmicos.

Los sistemas ablandadores reducen la concentración de sales de dureza presentes en el agua y disminuyen la formación de incrustaciones dentro de los calderos.

La presente investigación tiene como objetivo producir agua de calidad que cumpla los estándares internacionales para su uso en un caldero de 5MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha. Para lograr el objetivo se diseñó un sistema ablandador con 2.56 metros cúbicos de resina catiónica, un caudal de operación de 25.6 metros cúbicos por hora y un tiempo de saturación de 21.28 horas. Para evaluar la calidad de agua blanda en el sistema ablandador propuesto, fue necesario diseñar y construir un sistema ablandador a escala piloto donde se analizaron muestras de agua recogidas en la laguna Putacocha para la producción de agua de calidad para su uso en calderos.

Las consideraciones de diseño, operación, análisis y los resultados obtenidos se encontrarán en el contenido de la presente investigación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

Los calderos requieren agua de calidad que cumplan los requisitos internacionales establecidos por la Norma Británica BS – 2486, la American Boiler Manufacturing Association y el Technischen Uberwachungs Verein a fin de prevenir problemas de incrustación de sales en su interior.

El agua superficial de la laguna Putacocha presenta impurezas propias de procesos naturales de erosión, meteorización, ciclo agua y actividades agrícolas que se desarrollan en su entorno; su calidad de agua no cumple con los estándares para agua de alimentación en calderos y debe ser tratado mediante un sistema ablandador para evitar los siguientes problemas en las calderas:

- Atoro de tuberías por incrustación de sales de dureza.
- Aglomeración de sales de dureza en el interior de las tuberías.
- Mayor consumo de combustible para la generación de vapor.
- Costos no presupuestados para servicios de limpieza y mantenimiento correctivos del caldero.
- Reducción de la vida útil del equipo térmico.
- Disminución de la eficiencia de generación de vapor.

1.2 Formulación del problema

Con el fin de realizar el presente trabajo de investigación nos formulamos la problemática a modo de pregunta:

¿El sistema ablandador con resina Amberlite IR 120 produce agua de calidad para un caldero de 5 MW, a partir del agua superficial de la laguna Putacocha?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1. Objetivo general

Producir agua de calidad para un Caldero de 5 MW mediante un sistema ablandador con resina Amberlite IR 120 a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad de agua requerida para un caldero de 5 MW.
- Diseñar un sistema ablandador.
- Realizar ensayos de ablandamiento con agua superficial de la laguna Putacocha.

1.4 Justificación

La presente investigación justifica su desarrollo en los siguientes argumentos:

- Creciente dependencia de la energía en forma de vapor a nivel industrial, a partir de sistemas ablandadores y térmicos.
- Aprovechamiento sostenible de las fuentes superficiales de agua en la laguna Putacocha.

1.5 Importancia

La presente investigación basa su importancia de acuerdo a los elementos del desarrollo sostenible.

1.5.1. Por su aspecto socioeconómico

- El aprovechamiento del agua superficial es más económico que el agua subterránea, su aprovechamiento para la generación de vapor mejora la rentabilidad en la industria.
- Los sistemas ablandadores mediante resinas de intercambio iónico son una alternativa eficiente y económica para ablandar el agua, debido al tiempo de vida útil de las resinas y a la fácil operación de su regeneración.

1.5.2. Por su aspecto ambiental

- El ablandamiento de aguas superficiales permite aprovechar el agua superficial de la laguna Putacocha sin afectar la calidad, ciclo hidrológico ni el caudal ecológico en la laguna Putacocha.
- El agua superficial de la laguna Putacocha sale por su desembocadura e ingresa al río Pampas, solo es aprovechada como agua para riego de áreas agrícolas. Su aprovechamiento para generar agua de calidad para uso de equipos térmicos y posterior generación de energía en forma de vapor es una alternativa ambiental para el desarrollo industrial sostenible en la región.

1.5.3. Por su aspecto político

- De acuerdo con la Ley General del Ambiente, Ley N 28611, las autoridades de Gobierno Regional y Local tienen como función promover la Política Nacional de Ambiente. Según la Ley N 28611 en su artículo 11 incisos C, los Gobiernos Regionales deben promover el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, incluyendo la conservación de la diversidad biológica, a través de la protección y recuperación de los ecosistemas, las especies y su patrimonio genético.
- De acuerdo con la normativa ambiental, el ablandamiento del agua de la laguna Putacocha es una alternativa para que el Gobierno Regional de Junín cumpla en promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, las actividades de transferencia de conocimientos y recursos, la difusión de experiencias exitosas, conservar y aprovechar los recursos naturales evaluando científicamente el uso y protección de los recursos sin afectar la capacidad de los ecosistemas

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

La investigación plantea el Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica dimensionados para abastecer a una caldera de 6 BHP y demás equipos existentes. El diseño comprende el estudio de las propiedades del agua, análisis de la dureza del agua de abastecimiento, selección del ablandador tipo iónico, principios de diseño, selección de materiales, construcción y funcionamiento del equipo. El diseño comprende la operación mediante un caudal de 3.7 gl/min para producir agua blanda con dureza menor a 3 granos/galón con presión de trabajo de 60Psi y caudal de producción de 2 gl/min, teniendo resultados favorables en la investigación. (Cervantes, 2015).

La investigación Diseña y construye un sistema de ablandamiento mediante resinas de intercambio iónico para el agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Ecuador, como resultado el agua con características de dureza de 800mg/L y una conductividad de 890 uS se redujeron a concentraciones de 125 mg/L y una conductividad de 350uS siendo valores aceptables para la utilización en equipos de laboratorio. (Martínez, Idrobo 2012)

La investigación construye y valida un ablandador con resinas catiónicas para el agua de alimentación de la caldera del laboratorio de Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú, el ablandador presenta dimensiones de 0,6 metros de altura; 0,15 metros de diámetro. El agua de alimentación al ablandador presentó una dureza de 230 ppm, dureza cálcica 206 ppm, pH 7, conductividad 530 μ S/cm y la turbidez de 0,31 NTU. Se validó que el ablandador logró reducir la dureza del agua hasta obtener resultados menores a 75 ppm. (Meza, Pérez, 2011).

La investigación diseña y construye un equipo ablandador mediante resina zeolita de sodio para el tratamiento de agua de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno en sistema continuo. Las pruebas de operación se realizaron con flujos de alimentación a gravedad con válvulas abiertas al 100 % y 50 % y con uso de electrobombas; obteniéndose mayor rendimiento con el uso electrobombas reduciendo de 484 mg/L a 3 mg/L que corresponde al 99,27% de eficiencia. (Coello, Urviola 2004).

La presente investigación aborda los procesos que se requiere para obtener agua de excelente calidad en la alimentación de calderas y posteriormente sea convertida en vapor para uso en diversos procesos, así como también para prevenir bajos rendimiento en los equipos generadores de vapor. Se cita un proceso llevado a cabo por una empresa dedicada al tratamiento de agua, AQUAMEX, donde el tratamiento mediante cribado, cloración, ultrafiltración y ablandamiento con resinas iónicas mejorar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua para uso en calderas. Las pruebas realizadas muestran una reducción de dureza total de 110 ppm a <1 ppm. (Ortiz, Tavera 2013).

La investigación presenta un nuevo sistema de aprovechamiento de energía solar térmica denominado Caldera Solar, dicho sistema demanda de agua blanda para ser sobrecalentado y así obtener energía eléctrica. La generación de energía eléctrica mediante Calderas Solares presenta un 25% mayor de rendimiento frente a la generación de energía termoeléctrica actual. La investigación propone un diseño de Caldera Solar con capacidad de producir 5 MW de energía eléctrica cuya demanda de agua blanda menor a 2ppm debe ser de 22 Kg/s (Muñoz, 2008).

La investigación ablanda el agua subterránea de la Urbanización San Sebastián de Comas Perú mediante resina catiónica Amberlite IR 120 logrando reducir la dureza total del agua de 724 mg/L a concentraciones menores de 22 mg/l con una eficiencia del 97.2% a valores constantes de alcalinidad, conductividad y pH. Se concluye que la capacidad de operación de la resina depende del caudal de producción, concentración del NaCl, concentración de sodio y dureza del agua a tratar (Ramos, 2017).

2.2. Bases Legales

La presente investigación es una alternativa para promover la Política Nacional del Ambiente y está inmersa en las siguientes normas:

Constitución Política del Perú

Mediante referéndum de 1993, en el capítulo II “Del Ambiente y los Recursos Naturales” se indica lo siguiente:

En el artículo 66, los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la nación y que el estado es soberano en su aprovechamiento.

En el artículo 67, el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales.

Ley General del Ambiente

Mediante Ley N 28611, publicada el 15 de octubre del 2005, en el título II “De los Sujetos de la Gestión Ambiental” se indica lo siguiente:

Del título III “Integración de la Legislación Ambiental” se indica lo siguiente:

En el artículo 90, el Estado promueve y controla el aprovechamiento sostenible de las aguas continentales a través de la gestión integrada del recurso hídrico, previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran; regula su asignación en función de objetivos sociales, ambientales y económicos; y promueve la inversión y participación del sector privado en el aprovechamiento sostenible del recurso.

En el artículo 93, la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales deberá enfocarse de manera integral, evaluando científicamente el uso y protección de los recursos naturales e identificando cómo afectan la capacidad de los ecosistemas para mantenerse y sostenerse en el tiempo, tanto en lo que respecta a los seres humanos y organismos vivos, como a los sistemas naturales existentes.

Política Nacional del Ambiente

Mediante D.S. 012-2009-MINAM, publicada el 23 de mayo del 2009, se aprobó la Política Nacional del Ambiente, de cumplimiento obligatorio en los niveles de gobierno nacional, regional y local.

Lineamientos de la Política Ambiental en Cuencas, Agua y Suelos:

- a) Impulsar la gestión integrada de cuencas, con enfoque ecosistémico para el manejo sostenible de los recursos hídricos y en concordancia con la política de ordenamiento territorial y zonificación ecológica y económica.
- b) Consolidar los derechos de uso de los recursos hídricos mediante criterios de eficiencia y adecuada retribución por su aprovechamiento en concordancia con la normativa nacional vigente.

Ley General de Recursos Hídricos

Mediante Ley N° 29338, publicada el 31 de marzo del 2009 se aprobó la Ley de Recursos Hídricos lo que dispone:

En el artículo 25, los gobiernos regionales y gobiernos locales, a través de sus instancias correspondientes, intervienen en la elaboración de los planes de gestión de recursos hídricos de las cuencas. Participan en los Consejos de Cuenca y desarrollan acciones de control y vigilancia, en coordinación con la Autoridad Nacional, para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos.

En el artículo 34, El uso de los recursos hídricos se encuentra condicionado a su disponibilidad. El uso del agua debe realizarse en forma eficiente y con respeto a los derechos de terceros, de acuerdo con lo establecido en la Ley, promoviendo que se mantengan o mejoren las características fisicoquímicas del agua, el régimen hidrológico en beneficio del ambiente, la salud pública y la seguridad nacional.

Resolución Ministerial 939-2011-MINSA

El Ministerio de Salud mediante la resolución 939-2011 aprueba la Guía técnica para operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua para sistemas de vapor en donde se incluye consideraciones para los sistemas ablandadores que operan mediante resinas de intercambio iónico.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Dureza del Agua Superficial

La dureza del agua superficial se debe principalmente a la presencia de sales disueltas de calcio, magnesio y concentración de cationes metálicos como resultado de la erosión de los minerales producto del poder disolvente del agua y el ciclo hidrológico. Los minerales como la calcita y la dolomita incorporan los iones de calcio y magnesio (Ahumada & Hidalgo, 2006).

Clasificación del agua según su dureza

El Ministerio de Salud del Perú, según la resolución ministerial RM-939-2011-MINSA, clasifica el agua según la concentración de dureza para operaciones y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua para sistemas de vapor.

TABLA 2.1:
CLASIFICACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA PARA SISTEMAS
INTERCAMBIADORES DE CALOR

Clasificación del Agua	Dureza (mg CaCO ₃ / L)
Blanda	Menor de 17
Levemente dura	De 17 a 60
Moderadamente dura	Mayor de 60 a 120
Dura	Mayor de 120 a 180
Muy dura	Mayor de 180

Fuente: Ministerio de Salud del Perú, 2011

La dureza se clasifica en temporal o permanente según los aniones asociados a los cationes (calcio y magnesio) causantes de la dureza.

2.3.2. Resinas de Intercambio Iónico

Las resinas de intercambio iónico son polímeros insolubles en el agua, pueden ser de naturaleza orgánica e inorgánica compuestos de moléculas enlazadas que forman una matriz polimérica unidad a un grupo funcional soluble con la capacidad de intercambiar iones específicos (Grágeda, 2006) Se obtienen a partir de la copolimerización del estireno y el divinilbenceno, dos monómeros de naturaleza distinta, creando macromoléculas entrecruzadas denominadas poliestirenos El entrecruzamiento de la matriz polimérica le brinda insolubilidad y porosidad a la resina y el grupo funcional está unido a un ion capaz de ser intercambiado, según el principio de selectividad (Hidalgo y Guamán, 2006).

El intercambio iónico mediante resinas es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ión de una disolución se intercambia por otro ión de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. Al producirse el intercambio iónico, la capacidad de la resina comienza a decrecer, debido a que posee una capacidad limitada para la remoción y debido a esto es necesario regenerar la resina (Cheremisinoff, 2002).

Clasificación de las Resinas

En la actualidad a nivel industrial se emplea resinas sintéticas basadas en un copolímero de estireno y divinilbenceno. La clasificación de las resinas de acuerdo al grupo funcional es:

Resinas catiónicas

Presenta el grupo funcional sulfónico (-SO₃H), tiene la capacidad de intercambiar cationes asociados a la dureza por iones de sodio o hidrógeno. Estas resinas operan a cualquier pH. (Nevárez, 2009)

Son capaces de intercambiar los cationes de una solución a través del grupo sulfónico y carboxílicos. Estas resinas están fabricadas de forma esférica para resistir mejor la degradación física. Son estables a temperaturas altas (hasta 120° C) y pueden ser usadas en un amplio rango de pH. (Nevárez, 2009)

Resinas aniónicas

Tiene la capacidad de reducir todos los aniones de ácidos débiles o fuertes operando a cualquier pH. Son menos estables que las homólogas catiónicas, su duración bastante inferior y resisten temperaturas límites inferiores. Los grupos funcionales más comunes son aminas primarias, secundarias o terciarias. La afinidad relativa de estos grupos activos por el OH, comparado con otros aniones, es la mayor diferencia en estas resinas. (Nevárez, 2009)

Resina Amberlite IR 120

La resina Amberlite IR 120 es una resina catiónica fuertemente ácida de tipo gel con grupo funcional sulfónico (-SO₃H) Esta resina se genera a partir de la copolimerización del estireno y divinilbenceno. En su ciclo sodio se usa para el proceso de ablandamiento y en su ciclo hidrógenos se utiliza para el proceso de desmineralización del agua. (Nevárez, 2009).

Las propiedades de la Resina Amberlite IR 120 se muestran en el anexo 2

Operación de la Resina Amberlite IR 120 ciclo Sodio

La operación de la resina Amberlite IR 120 depende de varios factores como la calidad del agua a tratar, el nivel de regeneración y flujo de ingreso al sistema intercambiador de iones. (Rohm & Haas, 2008).

Pérdida de Dureza:

La pérdida de la dureza está muy relacionado a la concentración de solidos totales disueltos y nivel de regeneración. A mayor concentración de solidos totales disueltos, menor será la perdida de dureza en la solución a tratar. (Rohm & Haas, 2008).

$$\text{Leak} = \text{Leak}_0 \times A \times B$$

Dónde:

Leak: Fuga de dureza básica real

Leak₀: Fuga de dureza básica teórica

A: Factor de corrección por concentración de Solidos Totales Disueltos

B: Factor de corrección por porcentaje de cationes de sodio total

Los factores A y B son calculados según la hoja de datos de ingeniería de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio adjunto en el anexo 2.

Capacidad de Operación:

De acuerdo con Boeun Chemical Co., Ltd, la capacidad de operación de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio está en función concentración de sodio, concentración de dureza total, concentración del regenerante y el flujo de operación.

$$\text{CrO} = \text{CtO} \times C \times D \times E \times F$$

Dónde:

CrO: Capacidad real de Operación (eq/L)

CtO: Capacidad teórica de Operación (eq/L)

C: Factor de corrección por concentración flujo de operación de sodio en la solución.

D: Factor de corrección por concentración de dureza en la solución.

E: Factor de corrección por concentración del regenerante

F: Factor de corrección por flujo de operación.

Los factores C, D, E y F son calculados según la hoja de datos de ingeniería de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio adjunto en el anexo 2.

Expansión del Lecho de Resina:

La expansión de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio está en función del flujo de retrolavado y la temperatura de la solución a tratar (Rohm & Haas, 2008).

Caída de Presión del Lecho de Resina:

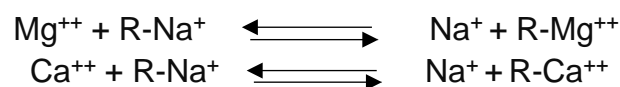
La caída de presión en el lecho de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio está en función del flujo de operación y la temperatura de la solución a tratar (Rohm & Haas, 2008).

2.3.3. Ablandamiento por Intercambio Iónico

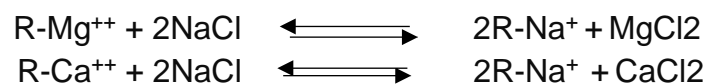
El ablandamiento de agua por intercambio es un proceso reversible donde se usa una resina catiónica fuertemente ácida del ciclo sodio para intercambiar iones presentes en el agua asociados con su dureza (Lapeña, 1990).

La resina intercambiará iones de Calcio y Magnesio, asociados a la dureza del agua, por iones de sodio hasta que pierda su capacidad de intercambio y requiera un proceso de regeneración con salmuera (Weber, 2003)

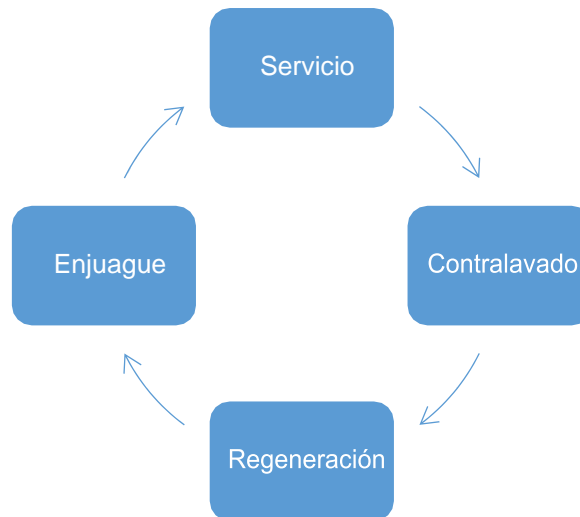
Las reacciones que ocurren durante el ablandamiento del agua son:



Las reacciones que ocurren durante la regeneración de la resina son:



Procesos de Ablandamiento



Fuente: Hidalgo y Guamán, 2006.

Servicio

Comprende el proceso de intercambio iónico entre la resina catiónica y los iones libres de calcio y magnesio asociados a la dureza del agua. (Hidalgo y Guamán, 2006).

Retro lavado

Es el proceso de descompactación del lecho de la resina saturada a fin de remover material suspendido para que la regeneración sea homogénea. (Hidalgo y Guamán, 2006).

Regeneración

Es el proceso donde se inyecta salmuera al lecho de resinas saturadas para alimentar de sodio el sistema y poder continuar con el ablandamiento. (Hidalgo y Guamán, 2006).

Lavado

Este proceso que, tiene por objetivo retirar el remanente de cloruro de sodio presente en la salmuera (Hidalgo y Guamán, 2006).

Factores que Afectan el Proceso de Ablandamiento

Tipo y concentración del regenerante:

El tipo de regenerante es Cloruro de sodio con una concentración de 10 %, esta condición de operación garantiza que el proceso de Regeneración cumpla las condiciones.

Naturaleza de la solución a tratar:

El agua que ingresara al proceso de ablandamiento es agua dura, con presencia de una gran cantidad de iones de calcio y magnesio y otros compuestos en bajas concentraciones que no afecten el proceso de ablandamiento.

Velocidad de flujo:

La velocidad lineal máximo 50 m/h, esta condición de operación garantiza que el proceso de ablandamiento cumpla las condiciones de diseño.

Temperatura del regenerante:

La Temperatura máxima de funcionamiento es 120°C, esta condición de operación garantiza que el proceso de ablandamiento cumpla las condiciones.

Profundidad del lecho:

La altura de lecho de la resina es de 700 mm, esta condición de operación garantiza que el proceso de ablandamiento cumpla las condiciones de diseño.

2.3.4. Calidad de agua de alimentación para un caldero

Un caldero de vapor aprovecha la energía de la radiación solar para transformar el agua blanda en vapor sobrecalentado. Un caldero con capacidad de producir 5MW de energía eléctrica requiere 22 kg/s de agua blanda (Muñoz, 2008).

La calidad de agua que ingresa a un caldero de vapor previene problemas de corrosión e incrustaciones en su infraestructura interna y mejora la eficiencia de producción de energía. El uso de agua blanda en los intercambiadores de calor permite ahorrar agua, energía y gastos por servicios de mantenimiento.

Según la resolución ministerial RM-939-2011-MINSA, el agua según su concentración de dureza se clasifica en blandas cuando presenta una concentración menor a 17 miligramos de carbonato de calcio y muy dura cuando presenta una concentración superior a 180 miligramos de carbonato de calcio.

De acuerdo con la Norma Británica BS – 2486, la American Boiler Manufacturing Association (ABMA) y el Technischen Uberwachungs Verein (TÜV) el agua de alimentación para calderos industriales debe presentar dureza total menor a 2 ppm, alcalinidad menor a 25 ppm libre de agentes insolubles.

TABLA 2.2:
CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDEROS

Parámetro	Valor Recomendado
Dureza total	<2 ppm
Contenido de oxígeno	<8 ppb
Dióxido de carbon	<25 mg/l
Contenido total de hierro	<0.05 mg/l
Contenido total de cobre	<0.01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	<1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: Norma Británica BS 2486.

Parámetros de alimentación del agua de una caldera.

- El pH: representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- La dureza: cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.
- El hierro y cobre: forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.
- Dióxido de carbono. El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorecen la corrosión.
- El aceite: favorece la formación de espuma y como consecuencia el arrastre al vapor.
- La alcalinidad: representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.

Problemas ocasionados por la dureza del agua

La operatividad de una caldera depende de las condiciones químicas del agua y del vapor. Los mayores problemas en el rendimiento de los equipos térmicos están relacionados con la acumulación de depósitos porosos. Una parte de los depósitos provienen del arrastre de los productos de corrosión generados en los sistemas previos a la caldera; otra parte proviene de la corrosión de los propios tubos de la caldera; y una última parte proviene de compuestos que arrastra el propio vapor por utilizar un agua de alimentación al sistema que no cumple con los requerimientos deseables.

Incrustaciones:

La presencia de carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice en el agua generan incrustaciones en el interior del sistema intercambiador de calor, debido a la baja solubilidad de las sales.

Arrastre de Condensado:

El arrastre de condensado en una caldera tiene relación con el suministro de vapor húmedo debido a deficiencias mecánicas y químicas en el sistema.

Las deficiencias mecánicas tienen relación con la operación con elevados niveles de agua, Por otro lado, las deficiencias químicas tienen relación con el tratamiento de agua de la caldera, específicamente con excesivos contenidos de alcalinidad, sólidos totales y sílice, que favorecen la formación de espuma (Oelker Behn, 2010).

Corrosión:

En el interior de las calderas se puede presentar la corrosión por óxido y la corrosión caústica.

La corrosión por óxido se genera a partir de la reacción del oxígeno disuelto presente en el agua y los componentes metálicos propios de las estructuras internas de las calderas. La corrosión caústica se genera por la elevada concentración de sales alcalinas, como la soda caústica, en zonas de la caldera de elevadas temperaturas como el fogón.

2.4. Definiciones de términos Básicos

- Agua superficial

Agua superficial es aquella que se encuentran sobre la superficie del suelo. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas.

- Agua Dura

Agua con elevada concentración de sales de calcio, magnesio y potasio. De acuerdo con el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) el agua dura es aquella que presenta mayor a 120 mg/l de carbonato de calcio.

- Agua blanda

- Agua con mínima presencia de sales de calcio y magnesio en forma de carbonatos o sulfatos. De acuerdo con el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) el agua blanda es aquella que presenta menor a 17 mg/l de carbonato de calcio.

- Ablandador

Equipo automático en cuyo interior se realiza el intercambio iónico.

- Alcalinidad

Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, se expresa en equivalentes de base por litro o en su equivalente de carbonato cálcico.

- Caldera de Vapor

Equipo que aprovecha la energía de la radiación solar para obtener energía eléctrica a partir del vapor sobrecalentado.

- Dureza Total

Es la medida de la concentración total del Calcio y Magnesio en el agua expresada como miligramos por litro de carbonato de calcio.

- Dureza Cálcica

Es la medida de la concentración total del Calcio en el agua expresada como miligramos por litro de carbonato de calcio.

- Dureza Temporal:

Corresponde a los contenidos de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Puede ser eliminada por ebullición del agua y posterior eliminación por filtración de los precipitados formados. También se le conoce como "Dureza de Carbonatos". (Muñoz, 2004)

- Dureza Permanente:

Corresponde a la dureza que queda en el agua después de la ebullición, incluye sulfatos, cloruros y nitratos de calcio, magnesio y otros metales

- Intercambio iónico

Proceso de intercambio de iones libres entre dos soluciones. Es aplicable para procesos de purificación, ablandamiento, desmineralización y descontaminación de disoluciones que contienen iones no deseados.

- Monitoreo ambiental

Conjunto de actividades que permiten el muestreo, análisis e interpretación de resultados de calidad del agua, suelo o aire.

- Métodos de ensayo

Procedimiento de ensayo que permite determinar la concentración de un parámetro dentro de una muestra representativa de agua, suelo o aire.

- pH

Es la medida cualitativa de la acidez que indica la concentración de iones de hidronio y oxhidrilos en el agua. El pH resulta del equilibrio carbónico y actividad biológica de microorganismos.

- Resinas iónicas

Polímero sólido, sintético, insoluble en agua y de forma esférica que tiene capacidad de intercambiar iones libres. Según su grupo funcional, las resinas presentan mayor afinidad por iones de similar carga, número atómico y radio atómico.

CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

La investigación basa su estudio en la evaluación de dos variables cuantitativas. A continuación, se dará la definición conceptual de las variables:

$Y = f(X)$, la evaluación de la variable dependiente está en función a la evaluación de la variable independiente.

Variable Independiente:

X1: Sistema Ablandador con resina Amberlite IR 120

Variable Dependiente:

Y1: Producción de calidad de agua para un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.

3.2. Operacionalización de variables

La evaluación de las variables será mediante análisis experimental de distintos parámetros fisicoquímicos del agua a tratar por ablandamiento.

Variable Independiente "X" $\xrightarrow{\text{Función}}$ Variable Dependiente "Y"

TABLA 3.1:
OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional		
		Dimensión	Indicadores	Técnicas Analíticas
Variable Independiente	Equipo de flujo descendente diseñado para ablandar agua mediante resinas iónicas con periodos de operación y saturación.	Ablandamiento del Agua	Porcentaje de eficiencia de ablandamiento	Porcentual
Sistema Ablandador con resina Amberlite IR 120		Operación de la resina	Capacidad útil de Operación	meqCa/L
		Saturación de la resina	Tiempo de Saturación	--
Variable Dependiente	Características físicas y químicas que debe cumplir una muestra de agua para su uso en calderos.	Potencial de Acidez	pH	EPA 150.1
Producción de calidad de agua para un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.		Potencial de Neutralización	Alcalinidad	SM 2320B
		Concentración de Dureza	Dureza Total	EPA 215.2
			Dureza Cálctica	EPA 215.2
		Dureza Magnésica	EPA 130.2	

3.3. Hipótesis General

El sistema ablandador con resinas Amberlite IR 120 produce calidad de agua para un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.

CAPITULO IV METODOLOGIA

4.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo correlacional experimental porque estudia las relaciones existentes entre variables. Las variables son medibles mediante indicadores cuantitativos para encontrar su grado de correlación.

4.2. Diseño de la investigación

La investigación es de diseño experimental porque realiza análisis de ensayo en muestras de agua recogidas de la laguna Putacocha para posteriormente ser analizadas en un sistema ablandador piloto.

4.3. Población y muestra

Población: Agua Superficial continental

Muestra: Agua superficial de la laguna Putacocha ubicado en la provincia de Concepción, distrito de Comas en la región Junín.

TABLA 4.2:
PUNTOS DE MUESTREO DE LA LAGUNA PUTACOCHA

Punto de Muestreo	Descripción	Coordenadas UTM WGS84 (Zona 18L)		Altitud (m.s.n.m.)
		Norte (m)	Este (m)	
M-ILP	Muestra de Ingreso de la Laguna Putacocha	8701282	501094	4189
M-SLP	Muestra de Salida de la Laguna Putacocha	8701177	500790	4189
M-DLP	Muestra a 100 metros de la desembocadura de la laguna Putacocha.	8700386	500210	4106

FIGURA 4.1:
UBICACIÓN DE LA LAGUNA PUTACOCHA



Fuente: Google Earth

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas Analíticas

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron las siguientes técnicas analíticas.

TABLA 4.3
TÉCNICAS ANALÍTICAS

Parámetros	Unidad	Técnicas Analíticas
pH	Und. pH	EPA 150.1
Alcalinidad	mg/l	SM 2320B
Dureza Total	mg/l	EPA 215.2
Dureza Cálcica	mg/l	EPA 215.2
Dureza Magnésica	mg/l	EPA 130.2

Equipos de Medición:

Se utilizó un multiparámetro de marca Hach para la medición de pH y temperatura, para la identificación de los puntos de monitoreo se utilizó un GPS, para la preparación de los reactivos se utilizó una balanza analítica y para visualizar las resinas en su estado de saturación fue necesario un microscopio.

Materiales:

Para la preparación de los reactivos en sus distintas concentraciones y para los ensayos realizados con las muestras de agua fue necesario una probeta, una pipeta, una micropipeta, dos matraces, cuatro vasos precipitados, dos pizeta, una bureta y un soporte universal.

Reactivos:

Para el análisis de la dureza fue necesario 10 litros de solución buffer ph 10, 4 litros de ácido EDTA ($C_{10}H_{16}N_2O_8$), 3 litros de hidróxido de sodio (NaOH), 3 litros de ácido sulfúrico (H_2SO_4); como indicadores fue necesario utilizar Negro de Eriocromo para el análisis de dureza total, Murexida para el análisis de dureza cálcica y Anaranjado de Metilo para el análisis de alcalinidad.

Técnica Estadísticas

La técnica utilizada para determinar el grado de correlación entre las variables fue mediante el coeficiente de correlación de Pearson, su determinación se desarrolló en la plataforma de Microft Office 2013.

4.5. Procedimientos de recolección de datos**4.5.1 Calidad del agua de la laguna Putacocha**

Para la identificación de la calidad del agua superficial se realizó lo siguiente:

- Revisión de data histórica de monitoreos ambientales realizados en la laguna Putacocha.
- Ubicación y reconocimiento de campo de la laguna Putacocha
- Identificación de los puntos de muestreo de la laguna Putacocha
- Medición IN SITU de parámetros de campo, temperatura y pH.
- Monitoreo, preservación y conservación de muestras recogidas.
- Procesamiento de la data histórica de monitoreos ambientales realizados en la laguna Putacocha.

Para la medición IN SITU, monitoreo, preservación y conservación de las muestras del agua superficial de la laguna Putacocha fue necesario adaptar las consideraciones técnicas establecidos en el protocolo nacional para el monitoreo de los recursos hídricos superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

Tipo de muestreo:

En la laguna Putacocha se realizó un muestreo simple, tomándose una porción del agua en puntos determinados para su análisis individual. Este tipo de muestreo representa las condiciones, características del cuerpo de agua para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en el instante en que se realiza el muestreo.

Procedimiento de muestro en lagunas desde la orilla:

Se consideró los siguientes procedimientos debido a que el muestreo solo se pudo realizar desde la orilla de la laguna Putacocha:

- Ubicación en puntos de fácil acceso, donde la corriente sea homogénea y poco turbulenta.
- Enjuague de los recipientes de muestreo dos veces como mínimo.
- Evitar la contaminación de los recipientes al momento de retirar la tapa y contratapa.
- Sumergir los recipientes a una profundidad aproximada de 20 a 30 cm, en dirección opuesta al flujo del río.

Medición de parámetros IN SITU

La información obtenida de la medición de parámetros IN SITU, refleja las condiciones reales del agua en la laguna Putacocha, para lo cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Equipos portátiles calibrados (multiparámetros, GPS) lo cual debe verificarse antes del inicio del trabajo de campo.
- Las mediciones se realizaron directamente en el cuerpo de agua debido a que las condiciones del ambiente lo permitían.

Preservación y conservación de muestras:

Posterior al muestreo en la laguna Putacocha, se procedió a preservar las muestras de acuerdo a lo indicado en el anexo VII del protocolo de monitoreo aprobado mediante R.J. 010.2016-ANA.

La finalidad de la preservación de las muestras es estabilizar la muestra de manera tal que las propiedades bajo prueba se mantengan estables desde el muestreo hasta su análisis.

Las muestras fueron almacenadas en galoneras y fueron selladas para evitar derrames y su exposición a la luz solar. Se consideró recipientes de un material distinto al vidrio de tal manera que la luz solar no afecte a la muestra.

Todas las muestras fueron enviadas de inmediato al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, a fin de proceder con su análisis.

4.5.2. Diseño del Sistema Ablandador

Un caldero de 5MWh demanda 22 l/s de agua blanda en una hora de operación al día (Muñoz, 2008)

El diseño propuesto comprende un sistema vertical de flujo descendente donde el volumen de resina está en función al caudal de producción, propiedades de la resina y calidad del agua a tratar.

- Revisión bibliográfica de diseño de sistemas ablandadores
- Identificación del volumen de agua blanda requerido por un caldero de 5MW
- Identificación de los estándares internacionales de calidad del agua de alimentación de un caldero.
- Diseño del sistema ablandador en función al volumen y calidad de agua requerida para la alimentación de un caldero de 5 MW.

Diseño de Sistema Ablandador para un Caldero de 5MW

Determinación del Volumen de Resina

El volumen de resina se obtiene en función de la dureza del agua, volumen de producción de agua blanda y capacidad de intercambio de la resina seleccionada (Hidalgo y Guamán, 2006).

$$V_r = \frac{DT \cdot P}{Cr}$$

Donde:

Vr: Volumen de resina.

DT: Dureza total (ppm)

P: Producción de agua blanda deseado (l)

Cr: Capacidad de intercambio (gr/l)

$$V_r = \frac{86.25 \text{ m}^3 \cdot \frac{22}{100} \cdot 3600 \frac{\text{m}}{\text{h}} \cdot 24 \text{ h}}{1.285 \cdot \frac{771}{100} \cdot 3.78 \cdot 17.1} = 2.56 \text{ m}^3$$

$$V_r = 2.56 \text{ m}^3$$

Cálculo del área del lecho (A)

La hoja técnica de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio indica que la altura mínima del lecho es de 70 cm, se considera para el presente diseño una altura de 1.2 metros.

$$V_r = \frac{A \cdot h}{h}$$

Donde:

Vr: Volumen de resina.

H: Altura resina

$$A = \frac{2.56 \text{ m}^3}{1.2 \text{ m}} = 2.13 \text{ m}^2$$

Cálculo del diámetro del lecho (d):

Considerando un sistema ablandador de forma cilíndrica, el diámetro se obtiene a partir de área.

$$d = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Donde:

A: Área del lecho

π: 3.1416

$$d = 2 * \sqrt{\frac{2.13 \text{ m}^2}{3.1416}} = 1.65 \text{ m}$$

Cálculo del caudal de operación (Vo):

De acuerdo con la hoja técnica de la resina Amberlite IR 120, el caudal de operación debe estar en el rango de 5 a 40 veces el volumen de resina por unidad de tiempo hora.

$$V_o = 10 * \frac{V_r}{h}$$

Donde:

Vr: Volumen de resina

T: Tiempo (1 hora)

$$Q = 10 * \frac{2.56}{1} = 25.6 \text{ m}^3/h$$

Cálculo de la velocidad de operación (Vo):

$$V_o = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Q: Caudal de operación

A: Área del lecho

$$V_o = \frac{25.6 \text{ m}^3/h}{0.089 \text{ m}^2} = 287.64 \text{ m/h}$$

Cálculo del porcentaje de expansión (% E):

La hoja técnica de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio adjunta un cuadro del porcentaje de expansión del lecho de la resina en función a la velocidad de operación y la temperatura de la solución.

El agua de la Laguna Putacocha tiene una temperatura promedio de 10 °C anual. El porcentaje de expansión es de 42 %.

Cálculo de la altura de operación del lecho de resina (H):

La altura de operación de la resina es la sumatorio de la altura del lecho de resina y la altura de expansión.

$$H = h + \%E * h$$

Donde:

H: Altura de operación del lecho de resina

h: Altura del lecho de resina

$$H = 1.2 + 0.42 * 1.2 = 1.70 \text{ m}$$

Cálculo del nivel de regeneración (N):

La hoja técnica de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio establece distintos rangos de nivel de regeneración en función regenerante utilizado.

TABLA 4.4:
TIPOS DE REGENERANTE

Regenerante	HCl	H2SO4	NaCl
Nivel regeneración (g/l)	50 a 150	60 a 240	80 a 250
Concentración	5 a 8	0.7 a 6	10

g/l: Gramos por litro

La presente investigación considera como regenerante al cloruro de sodio y un nivel de regeneración de 150 g/l.

Calculando el volumen de saturación (Vs):

El volumen de saturación representa la cantidad de solución a tratar que ingresará al sistema ablandador hasta saturar la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio.

$$V_s = \frac{V_r \cdot C_r \cdot 1000}{C_w}$$

Dónde:

Vs: Volumen de agua a tratar (m³)

Vr: Volumen de Resina (m³)

Cu: Capacidad útil de la resina (eq/L)

Co: Concentración de iones de dureza (mg-eq/L)

$$V_s = \frac{2.56 \cdot 1000 \cdot 1.285}{6.054} = 543.38 \text{ m}^3$$

Calculando el tiempo de saturación (Ts):

El tiempo de saturación representa el intervalo de tiempo que la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio opera en el sistema ablandador antes de demandar su regeneración.

$$T_s = \frac{V_s}{Q}$$

Donde

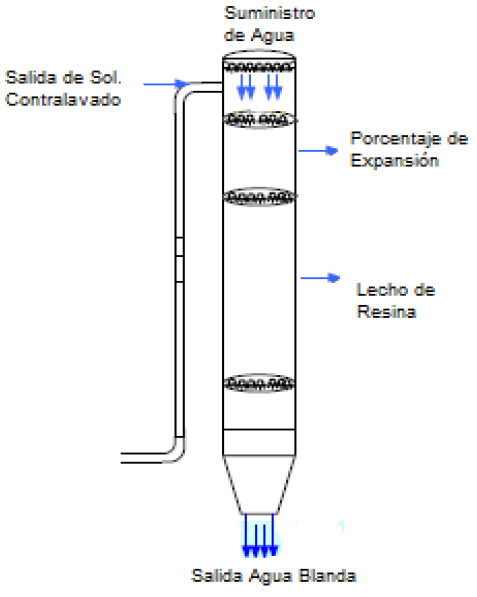

Ts: tiempo se saturación (h)

Vs: volumen de saturación (m3)

Q: caudal de servicio (m3/h)

$$T_s = \frac{543.38}{25.6} = 21.23 \text{ h}$$

TABLA 4.5:
ESQUEMA DEL SISTEMA ABLANDADOR

Esquema sin Contra lavado	Esquema con Contra lavado
 <p>Suministro de Agua</p> <p>Salida de Sol. Contralavado</p> <p>Porcentaje de Expansión</p> <p>Lecho de Resina</p> <p>Salida Agua Blanda</p>	 <p>Enjuague</p> <p>Regenerante</p> <p>Lecho de Resina</p> <p>Tanque de Almacenamiento</p> <p>Contralavado</p>

Fuente: Elaboración del autor.

Selección de la Resina Amberlite IR 120

La resina Amberlite IR 120 ciclo sodio es una resina catiónica fuertemente ácida utilizada para procesos de ablandamiento del agua. A continuación, se detallan los criterios de su selección:

Se utilizó la Resina Amberlite IR 120 porque utiliza como regenerante la solución salmuera, el cual es accesible en el mercado y de bajo costo, así mismo la resina contiene elevada concentración de divinilbenceno en su composición el cual mejora su resistencia mecánica y tiene la capacidad de operar en un rango amplio de temperatura.

4.5.3. Calidad del agua tratada

Para la evaluación del agua tratada se realizó lo siguiente:

- Identificación de los estándares internacionales de calidad del agua de alimentación de un caldero.
- Diseño y construcción de un sistema ablandar piloto del sistema propuesto.

- Análisis en laboratorio de las muestras de agua recogidas en la laguna Putacocha antes y después del tratamiento.
- Comparación e interpretación los resultados de ensayo con los estándares internacionales de calidad de agua de alimentación en calderos

4.5.4. Evaluación del tiempo de saturación de la resina Amberlite

Para la determinación del tiempo de saturación de la resina Amberlite IR 120 se realizó ensayos de remoción de dureza cada hora hasta observar un incremento abrupto en los valores de dureza a la salida del sistema ablandador el cual es el inicio de la curva de ruptura en el lecho fijo de resinas.

4.6. Procedimientos estadísticos y análisis de datos

Para poder analizar los datos de la investigación se necesita conocer la naturaleza de las variables. La descripción del tipo estadístico univariado, según los diferentes procedimientos (Fierro, Jaime. 2010).

Prueba de Hipótesis

Las pruebas estadísticas, se compara el valor estadístico con su valor teórico para poder determinar los datos mencionados. Una prueba de hipótesis tiene en relación los siguientes conceptos:

- Valor calculado de un estadístico: Es el valor que se obtiene a partir de los datos de la muestra aplicando una fórmula matemática.
- Valor crítico estadístico: Es el valor que deja a la derecha de la distribución (o a la izquierda si es negativo) un porcentaje del área total de la misma. Este porcentaje representa la probabilidad de exceder ese valor crítico y se denomina nivel de significancia.
- Hipótesis nula (H_0): Aquella que rechazamos si el valor calculado del estadístico excede el valor crítico del mismo.

H_0 : El sistema ablandador no produce la calidad de agua necesaria para la operación de un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.

- Hipótesis nula (H_1): Aquella que aceptamos cuando rechazamos la hipótesis nula.

H1: El sistema ablandador produce la calidad de agua necesaria para la operación de un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.

Software estadístico

La técnica utilizada para determinar el grado de correlación entre las variables fue mediante el coeficiente de correlación de Pearson, su determinación se desarrolló en la plataforma de Microsoft Office 2013.

CAPITULO V RESULTADOS

5.1. Calidad del agua de la laguna Putacocha

De acuerdo al registro histórico de monitoreo ambiental realizado durante todo el año 2015, la laguna Putacocha presenta la siguiente calidad.

TABLA 5.1:
CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA PUTACOCCHA

Calidad		Estación Muestreo		
Parámetro	Unidad	M-ILP	M-SLP	M-DLP
pH	Unid. pH	7.63	7.58	7.4
Temperatura	°C	10.02	11.75	9.2
Conductividad	uS/cm	110.25	93.88	117.5
Calcio	mg/L	24.79	22.43	33.51
Magnesio	mg/L	8.27	7.33	7.27
Sodio	mg/L	0.98	0.95	0.78
Dureza total	mg/L	95.99	86.25	124.72
Sodio	meq/L	0.04	0.04	0.058
Aceites y grasas	mg/L	<0.2	<0.2	<0.2
Cobre	mg/L	0.0020	0.0044	0.0085
Hierro	mg/L	0.1564	0.2091	0.3900

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Laboratorio ISPSAC

Unid. PH: Unidades de pH

°C: Grados celcius

uS/cm: Micro siemens por centímetro

mg/L: Miligramo por litro.

mEq/l: Miliequivalente por litro

5.2. Resultados de diseño del sistema ablandador

El sistema ablandador diseñado para producir agua de calidad para su alimentación en un caldero de 5 MW, el cual demanda 22 l/s de agua blanda, presenta las siguientes condiciones de operación:

TABLA 5.2:
CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ABLANDADOR

Parámetro de diseño	Sistema Ablandador para alimentación de Caldera Vapor de 5 MW
Volumen de resina	2.56 m ³
Caudal de Ingreso	25.6 m ³ /h
Diámetro del lecho de resina	1.65 m
Altura del lecho de resina	1.2 m
Porcentaje de expansión	43 %
Altura de operación del lecho	1.72 m
Carga específica	10 h ⁻¹
Capacidad útil de operación	1.285 eq/l
Volumen de saturación	543.38 m ³
Tiempo de saturación	21.23 h

m³: Metros cúbicos

m³/h: Metros cúbicos por hora

m: Metro

h: horas

Eq/l: equivalente por litro

5.3. Calidad de agua tratada

El ablandamiento del agua superficial de la laguna Putacocha en los tres puntos de monitoreo presenta la siguiente calidad:

TABLA 5.3:
RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MUESTRA M-ILP ANTES DEL
ABLANDAMIENTO

Estaciones de Monitoreo	Fecha de análisis	Parámetros de Calidad				
		pH (unidad pH)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálcica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
M-ILP	6/03/2017	7.76	21.38	84.29	75.7	8.59
	7/03/2017	7.75	21.24	87.68	78.91	8.77
	8/03/2017	7.81	22.62	83.77	74.84	8.93
	9/03/2017	7.84	21.08	85.21	75.76	9.45
	10/03/2017	7.84	21.6	85.82	76.24	9.58
	13/03/2017	7.84	20.9	86.2	76.7	9.5
	14/03/2017	7.84	21.66	87	77.87	9.13
	15/03/2017	7.88	22.52	86.02	76.7	9.32
Media M-ILP		7.82	21.63	85.75	76.59	9.16

Fuente: Elaboración propia del autor.

M-ILP: Muestra de Ingreso de la laguna Putacocha

L/min: Litro por minuto

Und pH: Unidades de Ph

mg/l: Miligramo por litro de solución

TABLA 5.4:
RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MUESTRA M-ILP DESPUES DEL
ABLANDAMIENTO

Estaciones de Monitoreo	Fecha de análisis	Parámetros de Calidad				
		pH (unidad pH)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálcica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
M-ILP	6/03/2017	7.78	19.63	0.88	0.8	0.08
	7/03/2017	7.73	19.76	0.88	0.8	0.08
	8/03/2017	7.80	21.03	0.9	0.8	0.1
	9/03/2017	7.83	20.26	0.92	0.8	0.12
	10/03/2017	7.84	19.21	0.94	0.82	0.12
	13/03/2017	7.85	20.88	0.95	0.82	0.13
	14/03/2017	7.84	21.01	0.98	0.83	0.15
	15/03/2017	7.87	22.08	1.06	0.88	0.18
Media M-ILP		7.82	20.48	0.94	0.82	0.12

Fuente: Elaboración propia del autor.
M-ILP: Muestra de Ingreso de la laguna Putacochoa
L/min: Litro por minuto
Und pH: Unidades de Ph
mg/l: Miligramo por litro de solución

TABLA 5.5:
RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MUESTRA M-SLP ANTES DEL
ABLANDAMIENTO

Estaciones de Monitoreo	Fecha de análisis	Parámetros de Calidad				
		pH (unid pH)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
M-SLP	20/03/2017	7.74	25.4	88.86	77.78	11.08
	21/03/2017	7.74	25.51	88.72	78.37	10.35
	22/03/2017	7.76	24.68	88.47	76.96	11.51
	23/03/2017	7.76	24.68	90.37	81.24	9.13
	24/03/2017	7.8	23.12	90.71	80.47	10.24
	27/03/2017	7.84	23.74	89.37	80.37	9
	28/03/2017	7.85	24.29	90.36	81.31	9.05
	29/03/2017	7.88	24.48	88.52	77.85	10.67
Media M-SLP		7.80	24.49	89.42	79.29	10.13

Fuente: Elaboración propia del autor.
M-SLP: Muestra a la salida de la laguna Putacochoa
L/min: Litro por minuto
mg/L: Miligramos de bicarbonatos por litro.

TABLA 5.6:
RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MUESTRA M-SLP DESPUES DEL
ABLANDAMIENTO

Estaciones de Monitoreo	Fecha de análisis	Parámetros de Calidad				
		pH (unid pH)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
M-SLP	20/03/2017	7.74	23.25	1.22	1.07	0.15
	21/03/2017	7.75	24.8	1.26	1.02	0.24
	22/03/2017	7.76	23.12	1.24	1	0.24
	23/03/2017	7.77	22.82	1.38	1.13	0.25
	24/03/2017	7.79	22.43	1.48	1.26	0.22
	27/03/2017	7.85	22.87	1.26	1.04	0.22

Estaciones de Monitoreo	Fecha de análisis	Parámetros de Calidad				
		pH (unidad pH)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
	28/03/2017	7.85	22.9	1.32	0.98	0.34
	29/03/2017	7.88	23.27	1.58	1.24	0.34
Media M-SLP		7.80	23.18	1.34	1.09	0.25

Fuente: Elaboración propia del autor.

M-SLP: Muestra a la salida de la laguna Putacocha

L/min: Litro por minuto

mg/L: Miligramos de bicarbonatos por litro

TABLA 5.7:
RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MUESTRA M-DLP ANTES DEL ABLANDAMIENTO

Estaciones de Monitoreo	Fecha de análisis	Parámetros de Calidad				
		pH	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
M-DLP	3/04/2017	7.86	56.19	135.32	118.64	16.68
	4/04/2017	7.88	56.3	134.39	120.7	13.69
	5/04/2017	7.88	54.78	138.71	122.11	16.6
	6/04/2017	7.92	55.42	136.89	121.13	15.76
	7/04/2017	7.92	53.91	138.67	122.28	16.39
	10/04/2017	7.94	54.58	138.31	120.64	17.67
	11/04/2017	8.1	55.08	137.24	119.8	17.44
	12/04/2017	8.18	55.58	134.12	117.81	16.31
Media M-DLP		7.96	55.23	136.71	120.39	16.32

Fuente: Elaboración del autor.

M-DLP: Muestra a 100 metros de la desembocadura de la laguna

L/min: Litro por minuto

mg/l: Miligramo por litro

TABLA 5.8:
RESULTADOS DE CALIDAD DE LA MUESTRA M-DLP DESPUES DEL
ABLANDAMIENTO

Estaciones de Monitoreo	Fecha de análisis	Resultados de Análisis				
		pH	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
M-DLP	3/04/2017	7.85	53.31	1.86	1.52	0.34
	4/04/2017	7.88	55.54	1.95	1.48	0.47
	5/04/2017	7.88	53.91	1.89	1.59	0.3
	6/04/2017	7.91	53.27	2.08	1.74	0.34
	7/04/2017	7.92	53.22	1.88	1.52	0.36
	10/04/2017	7.94	53.66	2.06	1.87	0.19
	11/04/2017	8.08	53.69	1.98	1.84	0.14
	12/04/2017	8.18	52.03	2.1	1.72	0.38
Promedio Salida del Ablandador		7.96	53.58	1.98	1.66	0.32

Fuente: Elaboración del autor.

M-DLP: Muestra a 100 metros de la desembocadura de la laguna

L/min: Litro por minuto

mg/l: Miligramo por litro

GRÁFICO 5.1:
RESULTADOS MEDIA DE PH



El ablandamiento de las muestras de agua de la laguna Putacocha no reporta variación significativa del pH.

**GRÁFICO 5.2:
RESULTADOS MEDIA DE ALCALINIDAD**



El ablandamiento de las muestras de agua de la laguna Putacocha no reporta variación significativa de la alcalinidad

**GRÁFICO 5.3:
RESULTADOS MEDIA DE DUREZA TOTAL**



El sistema ablandador redujo la concentración de dureza total de la muestra M-ILP con un porcentaje de reducción del 98.90 %, la muestra M-SLP con el 98.50 % de eficiencia y la muestra M-DLP con el 98.55 % de eficiencia.

**GRÁFICO 5.4:
RESULTADOS MEDIA DE DUREZA CÁLCICA**



El sistema ablandador redujo la concentración de dureza cálcica de la muestra M-ILP con un porcentaje de reducción del 98.93 %, la muestra M-SLP con el 98.63 % de eficiencia y la muestra M-DLP con el 98.62 % de eficiencia.

**GRÁFICO 5.5:
RESULTADOS MEDIA DE DUREZA MAGNÈSICA**



El sistema ablandador redujo la concentración de dureza magnésica de la muestra M-ILP con un porcentaje de reducción del 98.69 %, la muestra M-SLP con el 97.53 % de eficiencia y la muestra M-DLP con el 98.04 % de eficiencia.

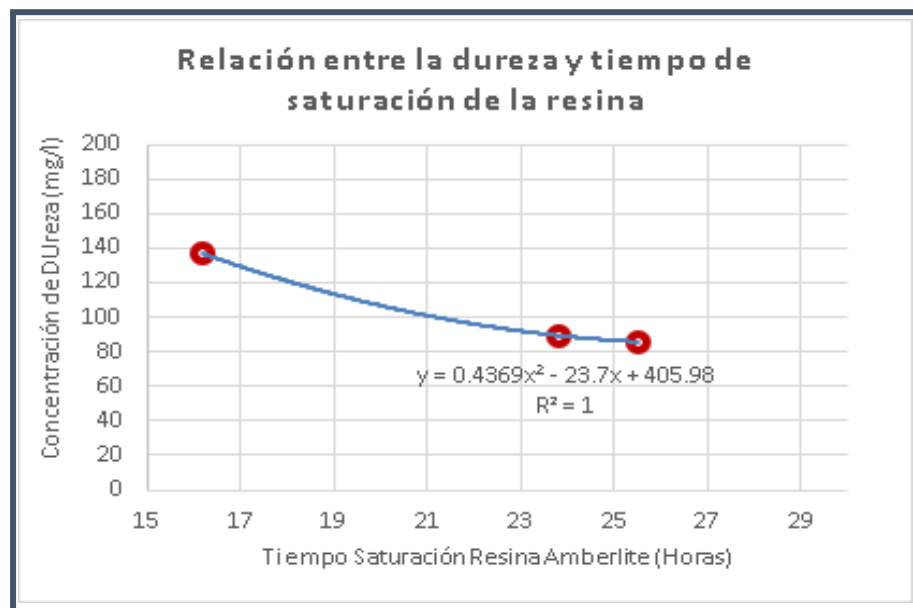
FIGURA 5.6:
LÍMITE DE DUREZA PARA ALIMENTACIÓN EN CALDERA



M-ILP: Muestra al ingreso de la laguna Putacocho
M-SLP: Muestra a la salida de la laguna Putacocho
M-DLP: Muestra a 100 metros de la desembocadura de la laguna Putacocho

De acuerdo con los estándares de calidad para alimentación de calderos establecidos por Norma Británica BS – 2486, la American Boiler Manufacturing Association (ABMA) y el Technischen Überwachungs Verein (TÜV), el ablandamiento del agua de la laguna Putacocha mediante la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio permite obtener agua de calidad para alimentación en calderos.

FIGURA 5.7:
RELACIÓN ENTRE LA DUREZA DE LA SOLUCIÓN Y TIEMPO DE SATURACIÓN DE LA RESINA



El comportamiento de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio frente a las distintas concentraciones de dureza de la muestra de agua de la laguna, indica que el tiempo de saturación es inversamente proporcional a la concentración de dureza del agua e inversamente proporcional a la capacidad de intercambio iónico. A mayor concentración de dureza la resina perderá con mayor rapidez su capacidad útil de intercambio reflejándose en el corto tiempo de saturación.

El indicador de tiempo de saturación frente a las distintas concentraciones de dureza en la muestra presenta una correlación perfecta, indicando la dependencia total entre los indicadores.

FIGURA 5.8:
CAPACIDAD ÚTIL REAL Y TEÓRICO



La capacidad útil de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio es directamente proporcional a la eficiencia de ablandamiento del agua. A mayor capacidad útil de intercambio iónico, la resina intercambiará mayores concentraciones de iones asociados a la dureza obteniendo aguas de menor concentración de dureza.

5.4. Determinación del tiempo de Saturación

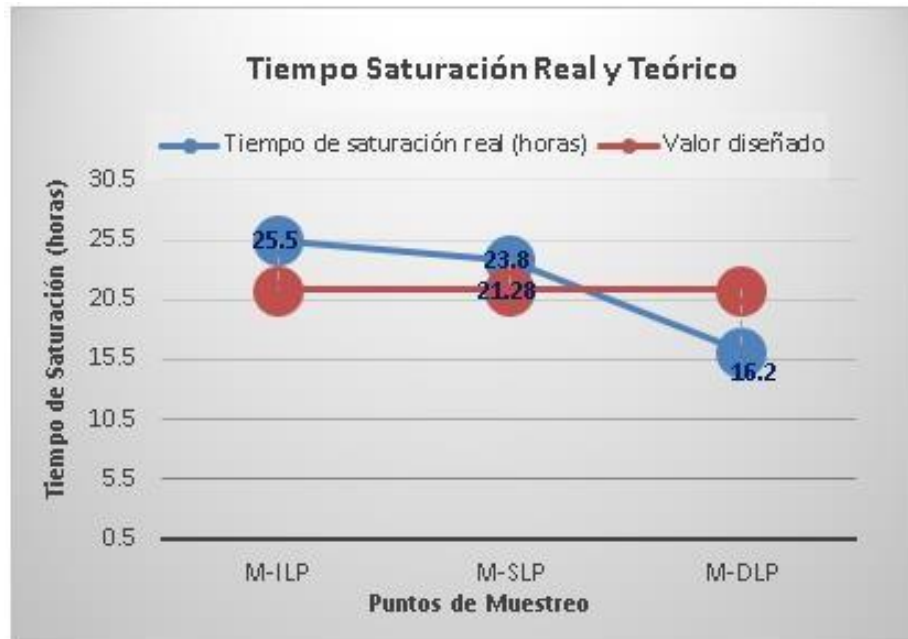
La determinación del tiempo de saturación de la resina Amberlite IR 120 durante el ablandamiento de las tres muestras de agua recogidas en la laguna Putacocha se determinó en función a la concentración final de dureza obtenida en el agua tratada y el tiempo de evaluación realizado hora por hora.

TABLA 5.9:
RESULTADOS DEL TIEMPO DE SATURACIÓN

Muestra	Evaluación de indicadores			
	Tiempo de saturación (h)	Caudal de Producción (L)	Capacidad útil (eq/L)	Porcentaje de ablandamiento
M-ILP	25.5	817.02	1.292	98.90
M-SLP	23.8	785.40	1.285	98.50
S-DLP	16.2	534.6	1.275	98.55

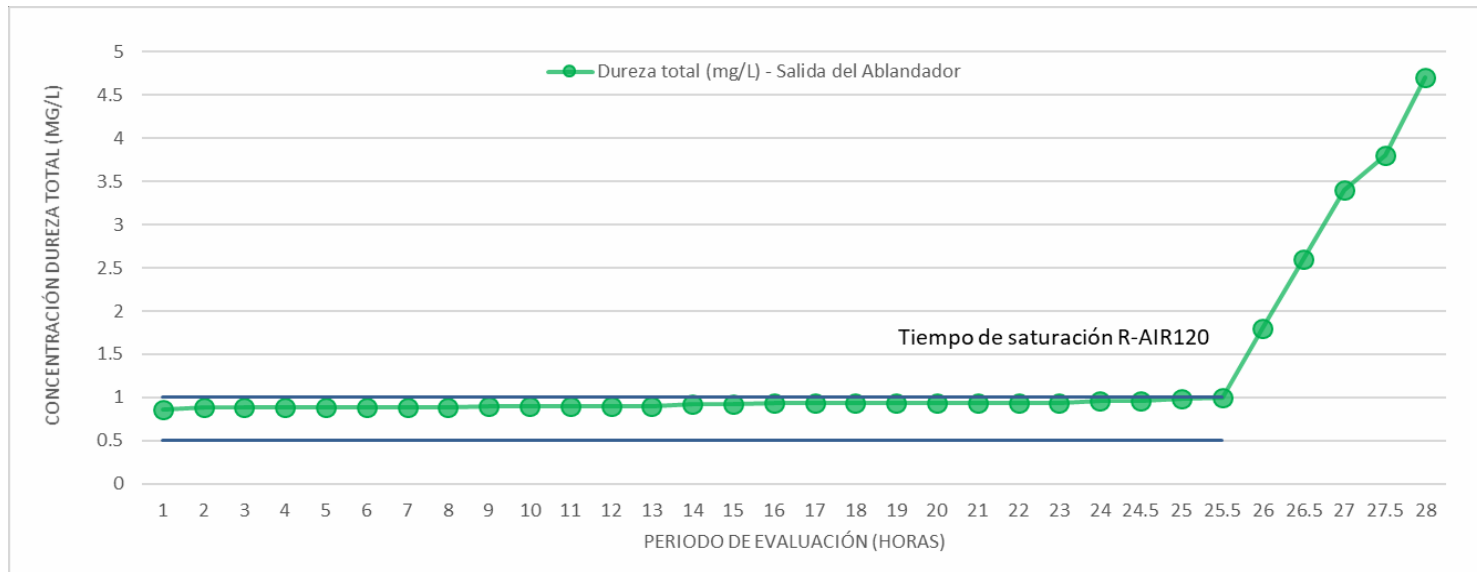
M-ILP: Muestra al ingreso de la laguna Putacocha
M-SLP: Muestra a la salida de la laguna Putacocha
M-DLP: Muestra a 100 metros de la desembocadura de la laguna Putacocha
H: Horas
L: Litros
Eq/l: Equivalente por litro

FIGURA 5.9:
TIEMPO DE SATURACIÓN REAL Y TEÓRICO



El tiempo de saturación teórico determinado en el diseño del sistema ablandador está dentro del rango determinado en

FIGURA 5.9:
DETERMINACIÓN TIEMPO SATURACIÓN – M ILP

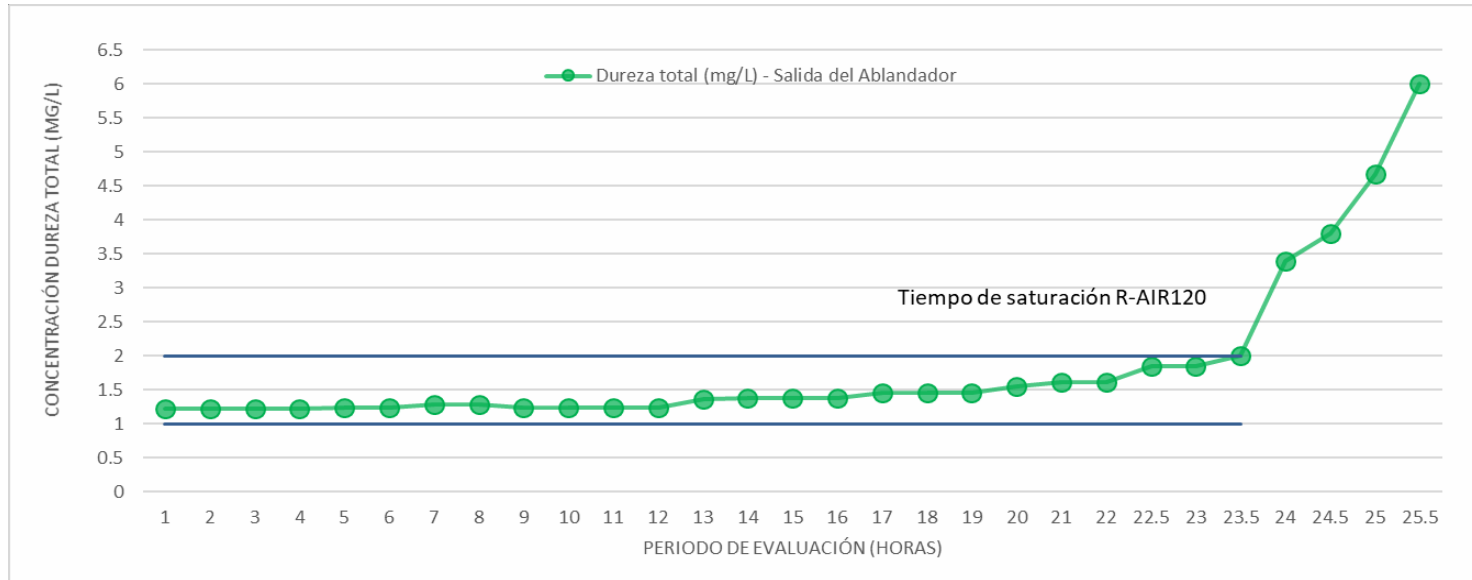


M-ILP: Muestra al Ingreso de la Laguna Putacocha.
mg/l: Miligramo por litro

La muestra M-ILP, recogida al ingreso de la laguna Putacocha presentó un tiempo de saturación de 25.5 horas. El sistema ablandador antes de llegar a la saturación produce un agua cuya calidad en dureza reporta concentraciones menores a 1 mg/L.

Durante la operación del Ablandador, las concentraciones de dureza en el agua tratada se encuentran en el rango de 0.5 mg/L a 1 mg/L.

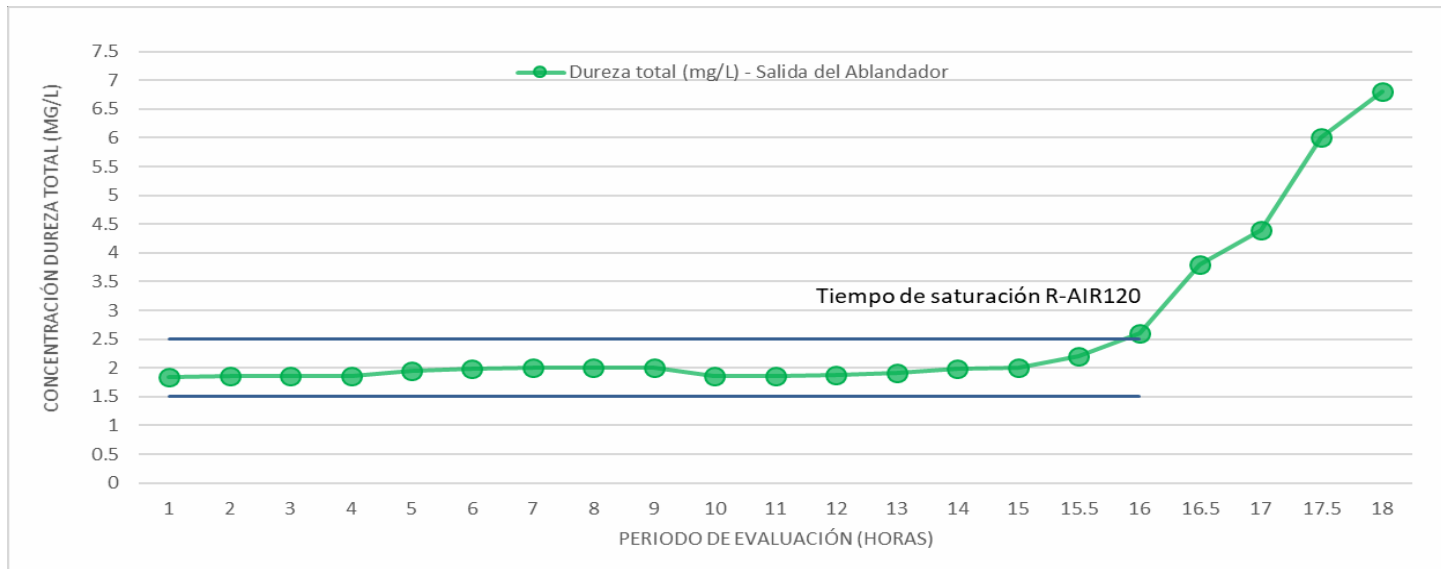
FIGURA 5.10:
TIEMPO SATURACIÓN – M SLP



M-SLP: Muestra en la Salida de la Laguna Putacocha.
mg/l: Miligramo por litro

El ablandamiento de la muestra M-SLP se evaluó por un periodo de 4 horas durante 8 días. La saturación de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio ocurre al sexto día de la evaluación. El tiempo de saturación es de 23.8 horas. El sistema ablandador antes de llegar a la saturación produce agua cuya calidad en dureza reporta concentraciones menores a 2 mg/L. Durante la operación del Ablandador, las concentraciones de dureza en el agua tratada se encuentran en el rango de 1 mg/L a 2 mg/L.

FIGURA 5.11:
DETERMINACIÓN TIEMPO SATURACIÓN – M DLP



M-DLP: Muestra a 100 metros de la Desembocadura de la Laguna Putacocha

El ablandamiento de la muestra M-DLP se evaluó por un periodo de 4 horas durante 8 días. La saturación de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio se alcanzó al cuarto día de la evaluación. El tiempo de saturación fue 16.2 horas. El sistema ablandador antes de llegar a la saturación produce agua cuya calidad en dureza reporta concentraciones menores a 2.5 mg/L.

Durante la operación del Ablandador, las concentraciones de dureza en el agua tratada se encuentran en el rango de 1.5 mg/L a 2.5 mg/L.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Calidad del Agua Superficial

El agua superficial de la laguna Putacocha ubicada en la Provincia de Concepción de la Región Junín presenta concentraciones de cobre, aceites y grasas que cumple con la calidad para alimentación de calderas según lo establecido por la Norma Británica BS – 2486, la American Boiler Manufacturing Association (ABMA) y el Technischen Überwachungs Verein (TÜV).

Las concentraciones de dureza total, ph y alcalinidad requieren de tratamiento mediante un sistema ablandador para cumplir con los estándares internacionales.

6.2. Diseño del sistema ablandador

El sistema ablandador propuesto tiene capacidad para tratar un caudal de ingreso de 25.6 m³/h con periodos de saturación de la resina Amberlite IR 120 de 21.23 horas, ideales para de producir agua de calidad para uso en un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.

6.3 Calidad de agua tratada

La calidad del agua obtenida mediante el sistema ablandador presenta concentraciones de ph, dureza y alcalinidad que cumplen con los estándares de calidad para alimentación de calderas según lo establecido por la Norma Británica BS – 2486, la American Boiler Manufacturing Association (ABMA) y el Technischen Überwachungs Verein (TÜV).

6.3 Determinación del tiempo de saturación

El tiempo de saturación calculado según diseño del sistema ablandadores de 21.23 horas y se encuentra dentro del rango determinado en las pruebas de ensayos realizados a escala piloto de 16.2 – 25.5 horas.

CAPITULO VII CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis, el sistema ablandador con Resina Amberlite IR 120 tiene la capacidad de producir agua de calidad para un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha, cumpliendo con los estándares internacionales establecidos por la Norma Británica BS – 2486.

Las pruebas realizadas en el sistema ablandador piloto con las muestras recogidas en la laguna Putacocha redujeron las concentraciones de dureza total a valores menores de 2 mg/l operando con una capacidad útil en el rango de 1.275 - 1.292 eq/l y durante un tiempo de saturación de 16.2 - 25.50 horas. La eficiencia de ablandamiento se mantuvo en el rango de 98.5 a 98.0 %. Los resultados teóricos del diseño se encuentran dentro de los rangos establecidos.

La capacidad útil de operación de la resina Amber lite IR 120 ciclo sodio tiene una relación directamente proporcional con la eficiencia de ablandamiento de las muestras de agua recogidas en la laguna Putacocha. A mayor capacidad útil de operación mayor es el porcentaje de la eficiencia de ablandamiento de la solución.

CAPITULO VIII RECOMENDACIONES

Continuar la evaluación del ablandamiento del agua superficial de la laguna Putacocha para periodos de fuerte lluvia y escorrentía en el distrito de Comas de la región de Junín, con la finalidad de evaluar el tiempo de saturación de la resina Amberlite IR 120 ciclo sodio y la eficiencia del ablandamiento de muestras de agua con elevada presencia de sales producto del arrastre de minerales por efecto de los factores ambientales mencionados.

Continuar con la investigación a escala piloto en un centro de investigación cercano de la laguna Putacocha a fin de evaluar mayores volúmenes de agua superficial a distintas épocas del año, condiciones climáticas, interacción de individuos y fomentar la participación ciudadana.

Investigar el ablandamiento del agua superficial de la laguna Putacocha proponiendo un sistema ablandador con lecho mixto de resinas catiónicas y aniónicas a fin de reducir otros parámetros distintos a la dureza.

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cervantes Anangonó, L. (2015). **Diseño y Construcción de un Ablandador de Agua mediante el empleo de Resinas de Intercambio Iónico para Abastecer los Equipos Térmicos del Laboratorio de Termodinámica**, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Avila, J.A (2017). **Lo esencial acerca de Intercambio Iónico**. 1999.
- Nunja Garcia, J. (2007). **Intercambio iónico ciclo sodio y blending para mejorar la calidad química del agua potable en el Distrito de Huacho**. Universidad Nacional Jose Faustino Sánchez Carrión, Peru.
- Neira Gutierrez, M. (2006). **Dureza en Aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación**. Universidad de Chile.
- Rodríguez, Sergio. (2010). **La Dureza del Agua**. Universidad Tecnológica Nacional U.T.N. Editorial Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.
- Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. (2015). Autoridad Nacional del Agua. Perú.
- Helmer Richard, Hesperbol (1999) **Control de la Contaminación del agua**. Editorial. Cepis OPS/OMS Lima, Perú. 546 pag.
- Hungler Poli. (2001) **Investigación Científica en Ciencia de la Salud** Sexta Edición. Editorial McGRAW-HILL interamericana México. 715 pag.
- OMS (1995) **Guías para la Calidad de Agua Potable**. Segunda Edición, Volumen 1. 195 pag.
- Spiro Thomas, G. & Stiglian William, M. (2004) **Química Ambiental**. Editorial Pearson - Prentice Hall - España.481 pag.
- Rohn and Hass Company (1988) **“Amberlite Ion Exchange Resins Manual”** Philadelphia, Pennsylvania. 170 pag.

- Vizcarra Andreu (2002) “Ecosfera” **La ciencia Ambiental y los Desastres Ecológicos**. Editorial Vizcarra Andrea. Lima, Perú. 525 pag.
- Ortiz Díaz, A & Tavera Cardona, C. (2013). **Tratamiento de Agua para alimentación de Calderas**. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México.
- García Olmos, C. (2002). **Aplicación de la Osmosis inversa y la Nanofiltración en el acondicionamiento de Aguas para Caldera**. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. España.
- Chapa, Francisco V. **Incrustaciones Producidas por el Agua**. Universidad de Nuevo León. México. Volumen III. 1967. pp 683-693.
- Fierro, Jaime. (2010). **Análisis Estadístico Univariado, Bivariado y Variables de Control**. Chile.
- Oelker Behn, A. **Tratamiento de Agua para Calderas**. Artículo Técnico. Chile.
- Hidalgo Domingez, F. & Guaman Perez, M. (2006). **Diseño y Construcción de un Desmineralizador de Lecho Multiple**. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2018). **Central Hidroeléctrica Runatullo II (19,1 MW)**. Unidad de Supervisión de Inversión en Electricidad
- J. Catalán Lafuente (1981) **Química del agua**. Editorial Alonso S.A, Madrid, España.
- J. Catalán Lafuente y A. Catalán (1987) **Ríos - Características y calidad de sus aguas**. Editorial Dihidros, Zamora, España.
- L. Ortiz Diaz y E. Tavera Cardona (2013) **Tratamiento de Agua para Alimentación de Calderas**, Tesis de Postgrado, Medico D.F. Mexico
- J. Romero Rojas (2009) **Calidad del Agua**, Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.

- M. Grágeda y M. Grágeda (2006), M. **Desarrollos actuales en tratamiento de riles por métodos electroquímicos**. Ciencia Abierta, Santiago de Chile.
- **Standard methods for the examination of wáter and wastewater**. APHA AWWA, WEF 21 st 2005.
- R. Rodriguez (2010), **La Dureza del Agua**: Seminario Agua, Buenos Aires
- Fundación Española para la Ciencia y la Teconología (FECYT), 2001, España.
- N. Cheremisinoff (2002), **Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies**, USA.
- Stanley E. Manahan (2007), **Introducción a la Química Ambiental**, Reverté S.A. Editorial, Mexido DF.
- NEVARÉZ, Martha. **Optimización del proceso de regeneración de resinas de intercambio iónico para ser utilizadas en el desmineralizador de agua de refinería estatal Esmeraldas**.
- Tesis de Grado (Ingeniero Químico) 2009. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riomba, Ecuador
- K Araujo (2015). **Diseño de unidades de desmineralización del agua como medio de enfriamiento**. Tesis de Grado (Ingeniero Químico). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Quito, Ecuador.
- Rigola, Lapeña M. (1990). **Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y aguas residuales**. 1era Edición. Editorial Marcombo. Colombia.
- Walter J. Weber, JR. (2003). **Control de la Calidad del Agua Procesos Físicoquímicos**, 2da Edición. Editorial Reverté. España.

- Javier Muñoz Antón (2008), **Sistema de Generación Eléctrica Mediante Calderas de Vapor Energizadas por Radicación Solar Concentrada**, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ley N 28611, **Ley General del Ambiente**.
- Decreto Supremo N 012-2009-MINAM, **Política Nacional del Ambiente**.
- Ley N 29338, **Ley General de Recursos Hídricos**
- Decreto Legislativo 1002, **Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables**.
- OSINERMING, **La industria de la Electricidad en el Perú**.
- Ministerio del Ambiente del Perú, **Estudio de Desempeño Ambiental en el Perú, periodo 2003-2013**.
- Autoridad Nacional del Agua, **Identificación de Fuentes Contaminantes por Vertientes del periodo 2010-2012**.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y Ministerio de Energía y Minas, **Atlas de Energía Solar del Perú**.
- Fondo de Inclusión Social Energético, **El Consumo Mínimo de Energía Eléctrica**.

APENDICE

APENDICE 1: UBICACIÓN DE LA LAGUNA PUTACOCHA

Zona Oeste	Zona Norte
 A photograph showing a wide view of Laguna Putacocha from the west. The lake is surrounded by green, rocky terrain under a cloudy sky.	 A photograph showing Laguna Putacocha from the north. The lake is nestled in a valley with rocky slopes and green vegetation.
Zona Sur	Zona Este
 A photograph showing Laguna Putacocha from the south. The lake is partially obscured by mist or fog, with green hills in the background.	 A photograph showing Laguna Putacocha from the east. A person wearing a backpack and gear is wading through a shallow stream in the foreground, with the lake and mountains in the background.

Fuente: Propio del autor.

APENDICE 2
PUNTOS DE MONITOREO LAGUNA PUTACOA 2015 – 2016

Ingreso de la laguna Putacocha – Época de Lluvias	Ingreso de la laguna Putacocha – Época Seca
	
Salida de la laguna Putacocha – Época de Lluvias	Salida de la laguna Putacocha – Época de Seca
	

Fuente: Propio del autor.

APENDICE 3
MUESTREO DE AGUA EN LA LAGUNA PUTACOCHA

Laguna Putacocha	M-ILP: Agua que ingresa a la Laguna Putacocha	M-SLP: Agua que sale de la laguna Putacocha	M-DLP: Agua a 100 metros de la desembocadura de la laguna Putacocha
			

Fuente: Propio del autor.

APENDICE 4
PRESERVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE MUESTRA

Primer viaje de muestreo	Segundo viaje de muestreo
	

Fuente: Propio del autor.

APENDICE 5
MEDICIÓN Y ANALISIS DE MUESTRAS

Medición de pH	Medición de Temperatura
	
Caudal de ingreso al Ablandador	Caudal de salida del Ablandador



Análisis de Dureza Total-
Antes de titulación



Análisis de Dureza Total-
Posterior a titulación



Análisis de Dureza Cálcica-
Antes de titulación



Análisis de Dureza Cálcica-
Posterior a titulación



Análisis de Alcalinidad
Antes de Titulación



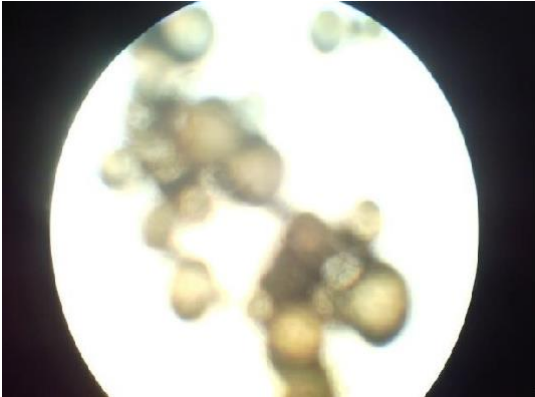



Análisis de Alcalinidad
Posterior a Titulación



Fuente: Propio del autor.

APENDICE 6 MEDICIÓN Y ANALISIS DE MUESTRAS

Muestras de resina	Observación de resinas
	
Resina no saturada	Resina Saturada
	

APENDICE 7
AUTOMATIZACIÓN DEL CONTRA LAVADO

Elaboración de la placa electrónica	Lenguaje de programación en ARDINO
	
Programación para 20 minutos	Sistema Automatizado
	

Fuente: Propio del autor.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

ANEXO 2: Ficha Técnica Resina Amberlite IR 120 ciclo sodio

ANEXO 3: Condiciones de Operación Resina Amberlite IR 120

ANEXO 4: Procedimiento de Análisis

ANEXO 5: Registro de Ensayos

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>Problema general:</p> <p>¿El sistema ablandador con resina Amberlite IR 120 produce agua de calidad para un caldero de 5 MW, a partir del agua superficial de la laguna Putacocha?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Producir agua de calidad para un Caldero de 5 MW mediante un sistema ablandador con resina Amberlite IR 120 a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>Determinar la calidad de agua requerida para un caldero de 5 MW.</p> <p>Diseñar un sistema ablandador.</p> <p>Realizar ensayos de ablandamiento con agua superficial de la laguna Putacocha.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>El sistema ablandador con resinas Amberlite IR 120 produce calidad de agua para un caldero de 5 MW a partir del agua superficial de la laguna Putacocha.</p>	<p>Tipo:</p> <p>La investigación es de tipo descriptivo porque describe la manera de producir agua de calidad para su uso en calderos aprovechando el agua superficial de la laguna Putacocha, se analiza las variables mediante indicadores cuantitativos para encontrar su grado de correlación.</p> <p>Diseño de la investigación:</p> <p>La investigación es de diseño experimental porque realiza análisis de ensayo en muestras de agua recogidas de la laguna Putacocha para posteriormente ser analizadas en un sistema ablandador piloto.</p>	<p>Población:</p> <p>Agua Superficial continental.</p> <p>Muestra:</p> <p>Agua superficial de la laguna Putacocha ubicada en la provincia de Concepción, distrito de Comas en la región Junín.</p>

ANEXO 2: Ficha Técnica Resina Amberlite IR 120 ciclo sodio

01002013

보은화학(주) 카탈로그 - PRODUCT DATA SHEET - AMBERLITE IR 120 Na

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE IR 120 Na

Strong Acid Cation Exchanger

AMBERLITE IR120 Na is a gel type strongly acid cation exchange resin of the sulfonated polystyrene type. It is used for water softening (in Na⁺ form) as well as for water demineralization (in H⁺ form) in co-flow regenerated units. Its principal characteristics are excellent physical, chemical and thermal stability, good ion exchange kinetics and high exchange capacity.

PROPERTIES	
Matrix	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional groups	Sulfonates
Physical form	Amber beads
Basic form as shipped	Na ⁺
Total exchange capacity ⁽¹⁾	≈2.0 eq/L (Na ⁺ form)
Moisture holding capacity ⁽¹⁾	45 to 50% (Na ⁺ form)
Shipping weight	840 g/L
Specific gravity	1.26 to 1.30 (Na ⁺ form)
Particle size	
Uniformity coefficient	≤1.9
Harmonic mean size	600 to 800 μm
Fine content ⁽¹⁾	< 0.300 mm : 2% max
Maximum reversible swelling	Na ⁺ → H ⁺ : 11%
Chemical resistance	Insoluble in dilute solutions of acids or bases and common solvents
⁽¹⁾ Contractual value Test methods are available on request.	
SUGGESTED OPERATING CONDITIONS	
Minimum bed depth	700 mm
Service flow rate	5 to 40 BV/A
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
Flow rate (BV/h)	2 to 5 2 to 20 2 to 8
Minimum contact time	30 minutes
Slow rinse	2 BV at regeneration flow rate
Fast rinse	2 to 4 BV at service flow rate

PERFORMANCE

<http://www.amberte.com/catalog/amberte/ir120na.html>

12

ANEXO 3: Condiciones de Operación Resina Amberlite IR 120

10102013

보통수질용) 카탈로그 - ENGINEERING DATA SHEET - AMBERLITE IR120 Na⁺ - CFR

ENGINEERING DATA SHEET

(Softening, Co-flow regeneration)

AMBERLITE IR120 Na

These data provide information to calculate the hardness leakage and operating capacity of Amberlite IR120 Na used for water softening with co-flow regeneration.

HARDNESS LEAKAGE

The average hardness leakage is obtained by multiplying the basic leakage value from Table 1 by the correction factors A and B from tables 2 and 3.

$$\text{Leak} = \text{Leak}_0 \times A \times B$$

Table 2 : Leakage Correction Factor A vs Total Dissolved Solids Concentration

TDS mg/L	Factor A
< 10	1.0
15	1.8
20	2.0
30	6.3
40	8.1

Table 1 : Basic Hardness Leakage versus NaCl Regenerant Level

NaCl g/L	Leakage mg/L (Leak ₀)
30	0.068
100	0.061
120	0.046
160	0.038
200	0.028
260	0.018

Table 3 : Leakage Correction Factor B versus Bed dilution

Total Carbonic Ratio	Factor B
< 6	1.0
10	1.2
20	1.8
30	1.8
60	2.6
70	3.1
80	3.7

Table 4 : Suggested Operating Conditions

Maximum operating temperature _____	20°C
Minimum bed depth _____	700 mm
Service flow rate _____	6 to 40 BV/h
Maximum linear velocity _____	60 m/h
Regenerant _____	NaCl
Level _____	30 to 260 g/L
Flow rate _____	2 to 3 BV/h (minimum contact time : 20 minutes)
Concentration _____	10 %
Backwash _____	2 BV at regeneration flow rate
Production _____	2 to 4 BV at service flow rate

OPERATING CAPACITY

Table 7 : Capacity Correction Factor D versus Hardness

http://www.ambrite.com/catalog/acid/en/2012/na_2012.pdf.html

112



ANÁLISIS DE LA DUREZA TOTAL



TESIS: ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA PUTACOA - JUNIN

DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL - METODOLOGÍA EPA 130.2

REACTIVOS / SOLUCIÓN	MATERIALES
Solución Buffer pH:10	1 Bureta más soporte universal
Acido EDTA 0.01 M	1 probeta
Negro Eriocromo	2 pipetas más 1 micropipeta
Agua Destilada	2 Matraz
Muestra de Análisis	1 Vaso
	1 Pizeta

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

PASO	ACTIVIDAD
1	Agregar 100 mL de la muestra a un vaso de precipitado de 250 ml
2	Agregar a la muestra (Paso nº 1), 5 ml de solución buffer pH 10.
3	Agregar a la muestra (Paso nº 2), un pizca de indicador Negro de Eriocromo
4	Dividir la muestra (Paso nº 3) en dos matraz, C/U con un mismo volumen de solución
5	Agregar a la bureta 25 ml de Ácido EDTA (0.01M)
6	Titular la muestra (Paso nº 4) con el Acido EDTA, hasta un cambio de coloración

CONSIDERACIONES

La muestra de alta dureza (Paso nº 4) presentará una tonalidad rojiza y cambiará a color azul (Paso nº 6)

La muestra de baja dureza (Paso nº 4) presentará una tonalidad morada y cambiará a color azul (Paso nº 6)

Para muestras de baja dureza (blandas), considerar una muestra de 200 mL. (Paso nº 1)

Para muestras de baja dureza (blandas), considerar 10 ml de solución Buffer pH 10. (Paso nº 2)

MÉTODO DE CÁLCULO

$$D. T = \frac{A * N * f * (50000)}{V}$$

D.T : Dureza total (mgCaCO ₃ /L)	f: Factor de la normalidad. (1mgCaCO ₃ / ml EDTA)
A: Volumen gastado del titulante (mL)	V: Volumen muestra (mL)
N: Normalidad de la solución EDTA (0.02N <> 0.01M)	50000: factor de conversión de unidades



ANÁLISIS DE LA DUREZA CÁLCICA



TESIS: ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA PUTACOHA - JUNIN

DETERMINACIÓN DE LA DUREZA CÁLCICA - METODOLOGÍA EPA 215.2

REACTIVOS / SOLUCIÓN	MATERIALES
Hidróxido de Sodio, NaOH 1N	1 Bureta más soporte universal
Acido EDTA 0.01 M	1 probeta
Murexida	2 pipetas más 1 micropipeta
Agua Destilada	2 Matraz
Muestra de Análisis	1 Vaso
	1 Pizeta

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

PASO	ACTIVIDAD
1	Agregar 100 mL de la muestra a un vaso de precipitado de 250 ml
2	Agregar a la muestra (Paso nº 1), 5 ml de solución hidróxido de sodio 1N
3	Agregar a la muestra (Paso nº 2), un pizca de indicador Murexida
4	Dividir la muestra (Paso nº 3) en dos matraz, C/U con un mismo volumen de solución
5	Agregar a la bureta 25 ml de Ácido EDTA (0.01M)
6	Titular la muestra (Paso nº 4) con el Acido EDTA, hasta un cambio de coloración

CONSIDERACIONES

La muestra de alta dureza (Paso nº 4) presentará una tonalidad rojiza y cambiará a color azul (Paso nº 6)

La muestra de baja dureza (Paso nº 4) presentará una tonalidad morada y cambiará a color azul (Paso nº 6)

Para muestras de baja dureza (blandas), considerar una muestra de 200 mL. (Paso nº 1)

Para muestras de baja dureza (blandas), considerar 10 ml de solución NaOH 1N. (Paso nº 2)

MÉTODO DE CÁLCULO

$$D.C = \frac{A * N * f * (50000)}{V}$$

$$C.T = \frac{A * N * f * (20040)}{V}$$

D.C: Dureza Cálcica (mgCaCO ₃ /L)	V: Volumen muestra (mL)
A: Volumen gastado del titulante (mL)	50000: factor de conversión de unidades
N: Normalidad de la solución EDTA (0.02N <> 0.01M)	C.T: Calcio total (mg Ca/L)
f: Factor de la normalidad. (1mgCaCO ₃ / ml EDTA)	20040: factor de conversión de unidades.



ANÁLISIS DE LA ALCALINIDAD



TESIS: ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA PUTACOHA - JUNIN

DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD - METODOLOGÍA SM 2320B

REACTIVOS / SOLUCIÓN	MATERIALES
Acido Sulfúrico 0.02 N	1 Bureta más soporte universal
Anaranjado de metilo	1 probeta
Agua Destilada	1 pipeta más 1 micropipeta
Muestra de Análisis	1 matraz

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

PASO	ACTIVIDAD
1	Agregar 50 mL de la muestra a un matraz
2	Agregar a la muestra (Paso nº 1), 3 gotas de Indicador Anaranjado de Metilo.
3	Agregar a la bureta 25 ml de Ácido Sulfúrico 0.02N
4	Tilular la muestra (Paso nº 2) con el Acido sulfúrico 0.02N, hasta un cambio de coloración

CONSIDERACIONES

El anaranjado de metilo en muestras de $\text{pH} < 3.1$, muestra tonalidad rojiza

El anaranjado de metilo en muestras de $3.1 < \text{pH} < 4.4$, muestra tonalidad naranja.

El anaranjado de metilo en muestras de $\text{pH} > 4.4$, muestra tonalidad amarillenta.

MÉTODO DE CÁLCULO

$$\text{Alc.} = \frac{A * N * 50000}{V}$$

Alc. Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	V: Volumen muestra (mL)
A: Volumen gastado del titulante (mL)	50000: factor de conversión de unidades
N: Normalidad del titulante H ₂ SO ₄ (0.02N)	



RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

TESIS: ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA PUTACOA - REGIÓN JUNIN

I ETAPA: ABLANDAMIENTO DEL AGUA QUE INGRESA A LA LAGUNA PUTACOA

Muestra de agua superficial recogida a 50 metros de la primera quebrada que ingresa a la laguna Putocha.

ESTACIONES DE MONITOREO	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADOS DE ANÁLISIS					
		Caudal (L/min)	pH	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
Ingreso al Ablandador	6/03/2017	0.6	7.76	21.38	84.29	75.7	8.59
Salida del Ablandador	6/03/2017	0.52	7.78	19.63	0.88	0.8	0.08
Ingreso al Ablandador	7/03/2017	0.6	7.75	21.24	87.68	78.91	8.77
Salida del Ablandador	7/03/2017	0.52	7.73	19.76	0.88	0.8	0.08
Ingreso al Ablandador	8/03/2017	0.6	7.81	22.62	83.77	74.84	8.93
Salida del Ablandador	8/03/2017	0.52	7.8	21.03	0.9	0.8	0.1
Ingreso al Ablandador	9/03/2017	0.6	7.84	21.08	85.21	75.76	9.45
Salida del Ablandador	9/03/2017	0.53	7.83	20.26	0.92	0.8	0.12
Ingreso al Ablandador	10/03/2017	0.6	7.84	21.6	85.82	76.24	9.58
Salida del Ablandador	10/03/2017	0.53	7.84	19.21	0.94	0.82	0.12
Ingreso al Ablandador	13/03/2017	0.61	7.84	20.9	86.2	76.7	9.5
Salida del Ablandador	13/03/2017	0.55	7.85	20.88	0.95	0.82	0.13
Ingreso al Ablandador	14/03/2017	0.61	7.84	21.66	87	77.87	9.13
Salida del Ablandador	14/03/2017	0.55	7.84	21.01	0.98	0.83	0.15
Ingreso al Ablandador	15/03/2017	0.6	7.88	22.52	86.02	76.7	9.32
Salida del Ablandador	15/03/2017	0.55	7.87	22.08	1.06	0.88	0.18
Ingreso al Ablandador	16/03/2017	Periodo de contralavado, regeneración y enjuague del sistema ablandador.					
Salida del Ablandador	16/03/2017						
Ingreso al Ablandador	17/03/2017	Salida de campo: Muestreo del agua superficial efluente de la Laguna Putacocha.					
Salida del Ablandador	17/03/2017						

Revisado por: Mg. Máximo Fidel Baca Neglia



RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

TESIS: ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA PUTACOA - REGIÓN JUNIN

III ETAPA: ABLANDAMIENTO DEL AGUA EFLUENTE DE LA LAGUNA PUTACOA

Muestra de agua superficial recogida a 10 metros del principal efluente de la laguna Putocha.

ESTACIONES DE MONITOREO	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADOS DE ANÁLISIS					
		Caudal (L/min)	pH	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálcica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
Ingreso al Ablandador	20/03/2017	0.61	7.74	25.4	88.86	77.78	11.08
Salida del Ablandador	20/03/2017	0.54	7.74	23.25	1.22	1.07	0.15
Ingreso al Ablandador	21/03/2017	0.6	7.74	25.51	88.72	78.37	10.35
Salida del Ablandador	21/03/2017	0.55	7.75	24.8	1.26	1.02	0.24
Ingreso al Ablandador	22/03/2017	0.6	7.76	24.68	88.47	76.96	11.51
Salida del Ablandador	22/03/2017	0.54	7.76	23.12	1.24	1	0.24
Ingreso al Ablandador	23/03/2017	0.6	7.76	24.68	90.37	81.24	9.13
Salida del Ablandador	23/03/2017	0.54	7.77	22.82	1.38	1.13	0.25
Ingreso al Ablandador	24/03/2017	0.6	7.8	23.12	90.71	80.47	10.24
Salida del Ablandador	24/03/2017	0.55	7.79	22.43	1.48	1.26	0.22
Ingreso al Ablandador	27/03/2017	0.6	7.84	23.74	89.37	80.37	9
Salida del Ablandador	27/03/2017	0.56	7.85	22.87	1.26	1.04	0.22
Ingreso al Ablandador	28/03/2017	0.6	7.85	24.29	90.36	81.31	9.05
Salida del Ablandador	28/03/2017	0.55	7.85	22.9	1.32	0.98	0.34
Ingreso al Ablandador	29/03/2017	0.6	7.88	24.48	88.52	77.85	10.67
Salida del Ablandador	29/03/2017	0.56	7.88	23.27	1.58	1.24	0.34
Ingreso al Ablandador	30/03/2017	Periodo de contralavado, regeneración y enjuague del sistema ablandador.					
Salida del Ablandador	30/03/2017						
Ingreso al Ablandador	31/03/2017	Salida de campo: Muestreo del agua superficial efluente de la Laguna Putacocha, 100 metros aguas abajo.					
Salida del Ablandador	31/03/2017						

Revisado por: Mg. Máximo Fidel Baca Neglia



RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

TESIS: ABLANDAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA LAGUNA PUTACOA - REGIÓN JUNIN

IV ETAPA: ABLANDAMIENTO DEL AGUA EFLUENTE DE LA LAGUNA PUTACOA, 150 METROS AGUA ABAJO

Muestra de agua superficial recogida a 150 metros del principal efluente de la laguna Putocha (Afluente del río Pampas)

ESTACIONES DE MONITOREO	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADOS DE ANÁLISIS					
		Caudal (L/min)	Alcalinidad (mg/L)	Acidez (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza Cálctica (mg/L)	Dureza Magnésica (mg/L)
Ingreso al Ablandador	3/04/2017	0.6	56.19	7.86	135.32	118.64	16.68
Salida del Ablandador	3/04/2017	0.54	53.31	7.85	1.86	1.52	0.34
Ingreso al Ablandador	4/04/2017	0.6	56.3	7.88	134.39	120.7	13.69
Salida del Ablandador	4/04/2017	0.54	55.54	7.88	1.95	1.48	0.47
Ingreso al Ablandador	5/04/2017	0.61	54.78	7.88	138.71	122.11	16.6
Salida del Ablandador	5/04/2017	0.54	53.91	7.88	1.89	1.59	0.3
Ingreso al Ablandador	6/04/2017	0.61	55.42	7.92	136.89	121.13	15.76
Salida del Ablandador	6/04/2017	0.55	53.27	7.91	2.08	1.74	0.34
Ingreso al Ablandador	7/04/2017	0.61	53.91	7.92	138.67	122.28	16.39
Salida del Ablandador	7/04/2017	0.54	53.22	7.92	1.88	1.52	0.36
Ingreso al Ablandador	10/04/2017	0.6	54.58	7.94	138.31	120.64	17.67
Salida del Ablandador	10/04/2017	0.55	53.66	7.94	2.06	1.87	0.19
Ingreso al Ablandador	11/04/2017	0.6	55.08	8.1	137.24	119.8	17.44
Salida del Ablandador	11/04/2017	0.55	53.69	8.08	1.98	1.84	0.14
Ingreso al Ablandador	12/04/2017	0.61	55.58	8.18	134.12	117.81	16.31
Salida del Ablandador	12/04/2017	0.55	52.03	8.18	2.1	1.72	0.38
Ingreso al Ablandador	13/04/2017	Periodo de contralavado, regeneración y enjuague del sistema ablandador.					
Salida del Ablandador	13/04/2017						
Ingreso al Ablandador	14/04/2017	Procesamiento en gabinete de la data de resultados obtenidos (Representación gráfica e interpretación de resultados)					
Salida del Ablandador	14/04/2017						

Revisado por: Mg. Máximo Fidel Baca Neglia