INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
SAN JOSÉ- COSTA RICA

Informe 1
Etapa 1: Diseño experimental y protocolo de pruebas
Licitación abreviada No. 2018LA-000048-PRI

"Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua¨

Nombre del proveedor:
Fundación Tecnológica de Costa Rica, FUNDATEC.
Instituto Tecnológico de Costa Rica, ITCR
Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química

TEC | Tecnológico de Costa Rica

CIPA centro de investigación en protección ambienta

Profesional responsable del proyecto. Dr. Ing. Luis G. Romero Esquivel
(Colegio de Químicos de Costa Rica No. 1321)

Equipo a cargo del Proyecto:
M.Ing. Braulio Enrique Umaña Quirós
M.Ing. Diana A. Zambrano P.
Egresada Ing. Ambiental Stephanie Hegg Sanchez
Egresada Ing. Fabiola Melissa Jiménez Arias

30 de enero de 2019

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo

AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS, ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI

Yo, Annette Henchoz Castro
_____

N° Cédula: 1-0725-0409
_____

Dependencia: Gerencia General

_____

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono**: 2242-5487

Annette Henchoz Castro
Firmado digitalmente por Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20 -06'00'

Firma: _____

CIPA
centro de investigación en protección ambiental

31 de enero de 2019

Ing. Andrés Lazo
Área funcional investigación aplicada
Fax: 2242-5227

Estimado señor:

Con respecto a la Licitación abreviada No. 2018LA-000048-PRI **"Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua"** le adjunto el informe 1 correspondiente a la Etapa 1: Diseño experimental y protocolo de pruebas.

En cuanto tengan las observaciones y comentarios al mismo con gusto se las podremos aclarar. Además, realizaremos los cambios pertinentes y les haré entrega de los documentos digitales finales necesarios.

Saludos cordiales,

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Centro de Investigación en Protección Ambiental

Dr. Ing. Amb. Luis G. Romero
Coordinador
Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)
Escuela de Química
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Tel: (506) 2550-2229. Cel: (506) 8867-2467

Contenido

1 Resumen ejecutivo 1
2 Nomenclatura 2
3 Metodología 3
3.1 Infraestructura y diseño experimental 3
3.1.1 Descripción de infraestructura existente 3
3.1.2 Propuesta de interconexión y diseño de sitio 3
3.1.3 Diagrama de flujo del proceso 4
3.1.4 Descripción del sistema piloto 5
3.1.5 Memoria de cálculo 6
3.2 Protocolo de pruebas 10
3.2.1 Descripción de corridas/escenarios de experimentales a realizar en sitio 10
3.2.2 Resumen de parámetros de diseño y operación 10
3.2.3 Procedimientos de operación, regeneración y laboratorio 11
4 Bibliografía 13

ANEXOS

ANEXO 1 FICHAS TÉCNICAS RESINA Y REGENERANTE
ANEXO 2 CALIDAD DE AGUA RETO UTILIZADA EN CALCULOS

APÉNDICES

APÉNDICE 1 PLANOS
APÉNDICE 2 PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS MEDICIÓN PARÁMETROS
APÉNDICE 3 FORMATOS DE CAMPO TOMA DE DATOS

1 Resumen ejecutivo

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ha detectado en los últimos años fuentes de agua con altos contenidos de sólidos disueltos de difícil de remoción por métodos de tratamiento convencionales. Dentro de las posibles técnicas de tratamiento se encuentra el intercambio iónico. La UEN de investigación y Desarrollo del AyA considera relevante conocer el detalle de operación y criterios de diseño de los procesos de intercambio iónico para la remoción de dureza total. Por tanto, presentó la Licitación abreviada No. 2018LA-000048-PRI "Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua". Este informe corresponde a la Etapa 1: Diseño experimental y protocolo pruebas de dicho estudio.

Primeramente, se presenta la infraestructura existente en el pozo Socorrito 3 del Plantel Socorrito de AyA ubicado en Barranca, Puntarenas. La misma consiste en una caseta de 21.60 m2 con espacio suficiente para realizar análisis de calidad de agua y colocar un sistema piloto. Se propone utilizar una resina de intercambio catiónico fuerte en su forma sódica marca Resintech y regenerar con sal (cloruro de sodio) marca Morton. El sistema piloto consiste en un vessel de 0,78m de diámetro y una altura de 1,118m equipado con una válvula automática de control de filtración y regeneración. En el sistema se utilizará 0.50m de altura de resina y la filtración será en modo descendente y la regeneración en sentido opuesto. Se realizarán 4 escenarios con resina nueva en cada caso y tres corridas cada uno. La resina nueva tiene una capacidad estimada de 2,06 eq CaCO3/L, en la primera corrida será agotada, posteriormente será regenerada hasta 1,15 eq CaCO3/L para continuar con la filtración hasta agotarse en la corrida dos, nuevamente será regenerada para proceder de forma similar con la corrida tres. El procedimiento anterior se repetirá en los 4 escenarios. En el primer escenario se trabajará a una velocidad de filtración de 9.80m/h; en los escenarios 2 y 3, tal como lo solicitan los términos de referencia, se incrementará y reducirá la velocidad en 5m/h resultando en 14,85m/h y 4,85m/h respectivamente. En el cuarto escenario se retornará a la velocidad de 9,80m/h pero, la regeneración será reducida en un 25% con respecto a los casos anteriores. Se estima un mínimo de 15 días hábiles de trabajo para realizar los 4 escenarios.

La operación del sistema será monitoreada en términos de caudal, volumen de agua tratada y calidad del agua cruda y del agua tratada. Los parámetros turbiedad, color, alcalinidad, dureza total, pH, temperatura y sólidos totales disueltos serán evaluados en el sitio. Además, dos muestras del agua tratada en cada corrida, una al inicio de operación y otra una vez agotada la resina, serán evaluadas más exhaustivamente incluyendo nivel N2 del reglamento del agua potable. También, el residuo del regenerante y de los enjuagues resultantes de cada corrida será sometidos a ensayos N1, N2, N3 y parámetros de aguas residuales estipulados en el artículo 14 del decreto 33601-MINAE-S. Todos estos análisis serán realizados en un laboratorio acreditado.

Mediante el diseño experimental, protocolo de pruebas y control de calidad propuesto se espera realizar la Etapa 2 de los términos de referencia. Además, de generar recomendaciones de operación y criterios de diseños apropiados para la implementación del intercambio iónico para la remoción de dureza en agua para consumo.

2 Nomenclatura

m	metro
cm	centímetro
h	hora
min	minuto
mg	miligramo
Kg	Kilogramo
L	litro
eq	equivalente
meq	miliequivalente
CaCO3	Carbonato de Calcio
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Na	Sodio
SO_4	Sulfato
Cl	Cloro
NaCl	Cloruro de Sodio
pH	Potencial de hidrógeno
N1	Parámetros de calidad de agua Nivel 1 definidos en el decreto 38924-S
N2	Parámetros de calidad de agua Nivel 2 definidos en el decreto 38924-S
N3	Parámetros de calidad de agua Nivel 3 definidos en el decreto 38924-S

3 Metodología

3.1 Infraestructura y diseño experimental

3.1.1 Descripción de infraestructura existente

La caseta del Pozo Socorrito 3 posee un área de construcción de 21.60 metros cuadros (9.00 metros cuadrados al interior de las paredes), con piso de concreto. Los detalles constructivos de la infraestructura son:

- El acceso se da por un portón de rejas (tubos cuadrados de 1") de 1.45 m de ancho y 1.82 m de altura.
- Las paredes son de bloques de concreto con agujeros (dan aspecto de ventanales) colocados sobre un zócalo de 35 cm de alto, confinados por columnas de concreto.
- El techo es de láminas de zinc, con una elevación libre en la parte frontal de 2.45 m y en la parte trasera de 2 m.
- La caseta cuenta con una acera perimetral de 60 cm de ancho.
- Se cuenta con iluminación (un fluorescente) y sólo se dispone de una salida de tomacorriente.
- La tubería de impulsión y de desagüe del pozo es de hierro con un diámetro nominal de 4".
- En el costado izquierdo (vista frontal) se cuenta con un caño (de tierra) el cual se usa para la descarga del desagüe del pozo cuando se requiere.
- En la pared interna izquierda (vista frontal) se encuentra colocado el panel eléctrico para controlar el sistema de bombeo a una altura de 70 cm sobre el nivel de piso terminado (NPT) y una caja de breakers a 1.82 m sobre NPT. Es necesario recalcar que la caja de breaker no posee ningún circuito instalado.
- En la tubería de impulsión se encuentra instalado un manómetro y un presostato, además de una llave de chorro en ½". Todos los niples instalados son en hierro.

En el Apéndice 1 se presenta el plano de la infraestructura existente.

3.1.2 Propuesta de interconexión y diseño de sitio

Dado que la infraestructura existente cuenta con una llave de chorro, la conexión del sistema piloto se pretende hacer a este mediante manguera, por lo cual no se requiere instalaciones hidráulicas complementarias. La alimentación al sistema se realizará mediante una conexión con manguera a la llave de chorro ubicada en la tubería de impulsión, la cual se llevará hasta la pared de uno de los costados de la caseta. En el interior de la caseta se ubicará los siguientes elementos:

- Unidad piloto de experimentación (ver descripción en aparte 2.1.4)
- Mesa de trabajo, en esta se ubicarán equipos de medición de parámetros de calidad de campo
- Tanque de almacenamiento de salmuera
- Nevera para refrigeración y preservación de muestras a llevar a laboratorio certificado

En el exterior de la caseta, en la parte posterior a la ubicación del sistema piloto, se colocarán dos tanques de almacenamiento de 220 L, en los cuales se almacenará el agua residual del proceso de regeneración y enjuague de la resina.

El diseño de sitio y los detalles de la distribución de los elementos descritos (plantas y cortes) se presentan en el Apéndice 1.

A nivel eléctrico, se utilizará el punto existente con interruptor y toma el cual permite conectar los equipos requeridos.

Por lo cual no se requiere por parte del AyA ningún tipo de ajuste a la infraestructura complementaria.

3.1.3 Diagrama de flujo del proceso

Considerando que la evaluación de la resina de intercambio contempla dos procesos, la Figura 1 presenta el diagrama de flujo del proceso de operación y La Figura 2 presenta el diagrama de flujo del proceso de regeneración. Este se da en dos ciclos, el primer ciclo asociado con la regeneración de la resina y el segundo ciclo, el enjuague de esta.

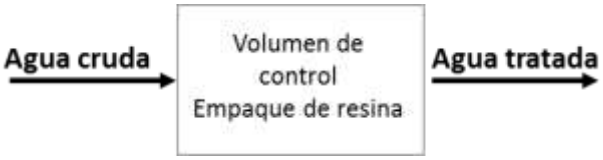


Figura 1 Diagrama de flujo proceso de operación

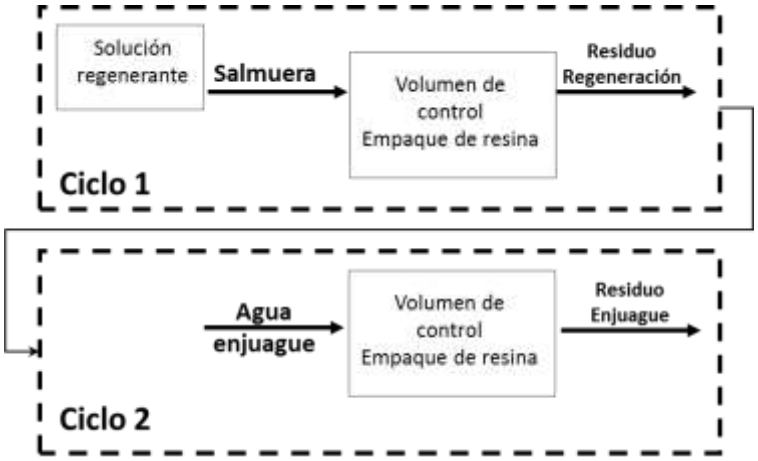


Figura 2 Diagrama de flujo proceso de regeneración y lavado

3.1.4 Descripción del sistema piloto

El sistema experimental, consta de una unidad móvil a escala piloto, como la presentada en la Figura 3, que permitirá evaluar el funcionamiento, eficiencia y punto de ruptura de la resina de intercambio iónico. Consta de un tanque tipo vessel, en el cual se empacará la resina ResinTech CG8-C, las características se presentan en la ficha técnica del Anexo 1. El vessel se complementa con válvulas de control hidráulico que permiten los modos de operación. La alimentación del sistema es ascendente.

El piloto se alimentará de agua cruda mediante una manguera, la cual contará con una válvula para regular el caudal/velocidad de alimentación al sistema. Posteriormente contará con un flujómetro, para monitorear el caudal alimentado, de tal forma que este no se modifique a lo largo de la corrida, por los cambios de presión en el sistema de bombeo.

El piloto, cuenta con un grifo para el muestreo de agua cruda.

A la salida del sistema, contará con grifo para el muestreo del agua tratada, instalado en la manguera de salida de agua.

Figura 3 Unidad experimental a escala piloto para la evaluación de resina de intercambio iónico

3.1.5 Memoria de cálculo

Suma de aniones y cationes equivalentes

A partir de los datos de calidad suministrados del 23/11/2016 (Ver Anexo 2), se encuentra la suma de cationes (Ca, Mg, y Na) igual a 5.6985 meq/l y la suma de aniones (SO^{-}_{4}, Cl^{-} y NO^{-}_{3}) igual a 5.2826 meq/L. No se incluye al ión bicarbonato. Se escoge para el análisis esta muestra dado que presentó la mayor dureza de la serie de datos (277 mg Ca CO_3/L).

Dimensión del vessel y volumen de resina

El vessel propuesto, presenta las especificaciones técnicas definidas en la Tabla 1. Considerando que se requiere un espacio vacío de 0.115 m, y que para condición de retrolavado se requiere un 50% de expansión, la altura útil de la resina es de 0.5 m, para un volumen total de 0.012 m^3. La altura disponible para retrolavado es de 0.5 m.

Tabla 1 Especificaciones técnicas vessel

Diámetro	7,00	pulgadas
	0,178	m
Altura	44,00	pulgadas
	1,118	m
Área transversal	0.025	m^2

En intercambio iónico, es común el uso o la equivalencia del volumen de resina a granos de $CaCO_3$. El rendimiento de la resina y la capacidad de intercambio de la resina, varía según el nivel de regeneración, estos parámetros se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2 Capacidad de la resina en función del nivel de regeneración

Nivel de regeneración	Capacidad de suavizar	
Kg NaCl/m^3 resina	Granos $CaCO_3$/pie^3 resina	eq $CaCO_3$/L resina
64	17000	0,78
96	20000	0,92
128	22000	1.00
160	25000	1,15
240	27000	1,24
320	29000	1,33
Infinito	45000	2,06

Fuente: Edzwald, 2011

La resina Resintec, recomendada para la ejecución de esta consultoría, indica que tiene una capacidad de >2.0 meq/mL. Al no estipular un valor preciso, se adopta el referido en Edzwald, 2011, el cual indica que para una capacidad de 2,06 eq $CaCO_3$/L se tiene 45000 Granos $CaCO_3$/pie^3 resina. La estimación de los granos empacados en el piloto, se calculan con la ecuación 1, considerando los

rendimientos asociados al nivel de regeneración de la Tabla 2. En cuanto a factores de corrección y seguridad se aclara que el fabricante de la resina Resintec no los provee, por tanto, no se incluyen.

$$\text{Granos empacados} = \text{Rendimiento de la resina } \frac{Granos\ CaCO_3}{pies^3} \text{ x Volumen de resina (pie}^3\text{)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Granos empacados resina nueva} = 45000\ \frac{Granos\ CaCO_3}{pies^3} \text{ x } 0.012\ m^3 \text{ x} \frac{1\ pie^3}{(0.3048\ m)^3} = 19728 \text{ granos}$$

$$\text{Granos empacados resina regenerada*} = 25000\ \frac{Granos\ CaCO_3}{pies^3} \text{ x } 0.012\ m^3 \text{ x} \frac{1\ pie^3}{(0.3048\ m)^3} = 10960 \text{granos}$$

* Nivel de regeneración 160 Kg NaCl/m^3 resina

Caudal, velocidad y tiempo de diseño-operación, capacidad resina

Considerando que el vessel tiene un diámetro de 7 pulgadas, equivalente a un área transversal de 0.025 m^2, el caudal de diseño estará determinado por la velocidad de operación definida en cada escenario, según la ecuación 2. La velocidad recomendada por el fabricante se encuentra en un intervalo entre 2,38 m/h a 23,89 m/h. Se adopta como velocidad base (Escenario 1), 9.85 m/h, sobre la cual se realizarán las modificaciones para cada escenario según los términos de referencia. Se adopta como velocidad base 9.85 m/h, ya que con esta se tiene un escenario de operación de 10 horas con el Vessel seleccionado. Dentro de los alcances de la consultoría se pretende monitorear un periodo de operación más regeneración de 12 horas. La regeneración demanda un tiempo de 2 horas, requiriéndose 10 horas de operación. Se aclara que durante la regeneración no es posible tratar agua, pues la resina está reconstituyéndose.

$$Q\ \frac{m^3}{h} = \text{Velocidad } (\frac{m}{h}) * A\ (m^2) \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$Q\ \frac{m^3}{h} = 9.85\ (\frac{m}{h}) * 0.025\ m^2 = 0.24\ \frac{m^3}{hora}$$

El volumen de agua a tratar, depende de dureza en el agua y los granos de resina requeridos para la remoción de esta, según la ecuación 3 y ecuación 4. El tiempo de operación está determinado según la ecuación 5.

$$\text{Requerimiento de resina } (\frac{granos}{galon}) = \frac{\text{Dureza total } \frac{\text{mg } CaCo_3}{L}}{17.1\ \frac{mgCaCO_3 * galon}{granos * L}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Volumen de agua a tratar (galones)} = \frac{Resina\ empacada\ (granos)}{Requerimento\ de\ resina\ (\frac{granos}{galon})} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Tiempo (hora)} = \frac{Volumen\ agua\ (m^3)}{Q\ (\frac{m^3}{hora})} \quad \text{Ecuación 5.}$$

$$\text{Requerimiento de resina } (\frac{granos}{galon}) = \frac{277\ \frac{\text{mg } CaCo_3}{L}}{17.1\ \frac{mgCaCO_3 * galon}{granos * L}} = 16.20\ (\frac{granos}{galon})$$

$$\text{Volumen de agua a tratar (galones)} = \frac{19728\ (granos)}{16.20\ (\frac{granos}{galon})} = 1218 \text{ galones}$$

$$\text{Tiempo (hora)} = \frac{1218\ galones * \frac{3.7L}{1\ galon} * \frac{1m^3}{1000\ L}}{0.24\ (\frac{m^3}{hora})} = 18 \text{ horas}$$

Manteniendo el parámetro de velocidad, esto impactará el tiempo de operación para cada escenario. Las velocidades, caudales de operación y tiempo de operación en cada escenario se presentan en la Tabla 3.

Considerando que cada escenario contempla la operación con resina nueva y resina regenerada, estos parámetros definirán las condiciones de operación. Para esta memoria, se adoptó de la Tabla 2, la capacidad de la resina nueva 2.06 eq $CaCO^3$/L (45000 granos/pie^3) mientras que regenerada de 1.15 eq $CaCO^3$/L (25000 granos/pie^3), dado que en función del costo/efectividad, es más factible contemplar un nivel de regeneración con 160 Kg NaCl/m^3 resina.

La meta de intercambio de iones, por corrida, en equivalentes, se calcula a partir de la ecuación 6.

Meta de intercambio de iones = Capacidad de suavizar ($\frac{eq\ CaCO_3}{L\ resina}$) x L resina Ecuación 6

Resina nueva

Meta de intercambio de iones por corrida= 2.06 $\frac{eq\ CaCO_3}{L\ resina} x 0.012 m^3 x 1000 \frac{L}{m^3}$ = 24.72 eq $CaCO_3$

Resina regenerada

Meta de intercambio de iones por corrida = 1.15 $\frac{eq\ CaCO_3}{L\ resina} x 0.012 m^3 x 1000 \frac{L}{m^3}$ = 13.8 eq $CaCO_3$

Tabla 3 Parámetros hidráulicos de operación utilizando el vessel de la Tabla 1 y 0.012 m^3 de resina.

Parámetro de operación	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Velocidad de alimentación	m/h	9,85	14,85	4,85	9,85
Caudal de alimentación	L/s	0,07	0,10	0,03	0,07
	L/min	4,07	6,15	2,01	4,07
Operación resina nueva					
Rendimiento resina	granos/pie^3	45000	45000	45000	45000
Volumen estimado tratado	m^3	4,36	4,36	4,36	4,36
Tiempo estimado de operación	horas	18	12	37	18
Intervalo de tiempo para toma de muestra	hora	1,5	1,0	3,0	1,5
Operación resina regenerada					
Rendimiento resina	granos/pie^3	25000	25000	25000	20000
Volumen estimado tratado	m^3	2,50	2,50	2,50	2,00
Tiempo estimado de operación	horas	10	7	21	8
Tiempo Total Escenario (0peración + Regeneración) Incluye corrida nueva y dos corridas regenerada	horas	43,50	31,07	83,75	39,50
	días	4	3	5	3

Regeneración

Velocidad de retrolavado y regeneración

En la regeneración, la resina Resintec CG8C, requiere un tiempo de contacto mayor de 20 min. Se adopta un tiempo de contacto de 30 min (0,5 hora). Para obtener este tiempo de contacto, el caudal de regeneración Q_R se estima con la ecuación 7 y la velocidad de regeneración V_R con la ecuación 8.

$$Q_R \ \frac{m^3}{hora} = \frac{Volumen\ (m^3)}{Tiempo\ (hora)} = \frac{0.012\ (m^3)}{0.5\ (hora)} = 0{,}024\ \frac{m^3}{hora}$$ Ecuación 7

$$V_R = \frac{Q\left(\frac{m^3}{hora}\right)}{Area\ (m^2)} = \frac{0.024\left(\frac{m^3}{hora}\right)}{0.025\ (m^2)} = 0.96\ \frac{m}{hora}$$ Ecuación 8

Para tener una expansión del 50% recomendada, la velocidad de retrolavado a 27°C según la ficha técnica de la resina Resintec es de 12 (galones/min)/pie equivalente a 28.68 m/h.

La ficha técnica sugiere como regenerante el uso de NaCl al 10-15%, en una relación de 4 a 10 lb/ft^3, siendo más recomendado por costo efectividad, un valor de 10 lb/ft^3, 160 kg/m^3 generando una capacidad de intercambio de 25000 $\frac{granos\ de\ CaCO_3}{pie^3}$ (Ver Tabla 2). La masa de NaCl requerida para el volumen de resina se calcula con la ecuación 7.

Masa de NaCl (kg) = $\frac{Nivel\ de\ regeneración\ kg\ NaCl}{Volumen\ de\ resina\ (m^3)} * Volumen\ de\ resina\ m^3$ Ecuación 7.

Los escenarios 1, 2 y 3, consideran una regeneración como la recomendada (160 kg/m^3), mientras que el escenario 4, sugiere un cambio al 75%, es decir 120 kg/m^3. La concentración de la salmuera se recomienda entre 10% a 15%. La cantidad de sal y volumen a preparar se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Parámetros de regeneración utilizando el vessel de la Tabla 1 y 0.012 m^3 de resina.

Parámetro de operación	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
REGENERACIÓN					
Requerimiento de NaCl	Kg./m^3	160	160	160	120
	Kg.	2,0	2,0	2,0	1,2
Concentración NaCl (10 al 15%)	%	10	10	10	10
Volumen de agua de disolución	L	20	20	20	12

El tiempo de regeneración recomendado por el fabricante es de 2 horas, incluyendo los ciclos de enjuague.

3.2 Protocolo de pruebas

3.2.1 Descripción de corridas/escenarios de experimentales a realizar en sitio

Cada escenario constará de una corrida con resina nueva y dos corridas con resina regenerada.

Para la evaluación y monitoreo del desempeño de la resina, se considera 4 escenarios definidos en los términos de referencia a describir, en los cuales la velocidad es una variable asociada a cada prueba:

Escenario 1: Velocidad recomendada por el fabricante, la cual se encuentra entre 2,38 m/h a 23,89 m/h. Se adopta como velocidad del escenario 1, 9.85 m/h.
Escenario 2: Velocidad del escenario 1 más 5 m/h, es decir 14,85 m/h.
Escenario3: Velocidad del escenario 2 menos 5 m/h, es decir 4,85 m/h
Escenario 4: Se opera con la misma velocidad del escenario 1, 9,85 m/h

El volumen de resina es un factor controlable o variable fija, todas las corridas son con el mismo volumen de resina especificado en la sección 2.1.5.

Considerando la variación de la calidad de agua, la velocidad en cada corrida, esto impactará en el caudal a tratar y el tiempo de operación. Para los tres primeros escenarios que la capacidad de la resina regenerada es la misma, se tratará el mismo volumen de agua a una misma calidad. Con respecto a la regeneración, los escenarios 1, 2 y 3, se regenerarán con requerimiento de NaCl de 160 Kg/m^3, mientras que en el escenario 4 el requerimiento de regeneración es del 75%, es decir 120 Kg/m^3.

La Tabla 5 presenta el resumen del tipo de variables a considerar.

Tabla 5 Resumen de variables diseño experimental

Factor controlable o variables fijas	**Factores no controlables**	**Variables**	**Variables de respuesta**
Volumen de resina	Calidad del agua	Velocidad/Caudal	Volumen a tratar
		Capacidad resina (nueva y según nivel de regeneración)	Tiempo de operación
			Parámetros de calidad de agua tratada

3.2.2 Resumen de parámetros de diseño y operación

Los parámetros de operación se describen en la Tabla 3 y los parámetros a considerar en la regeneración se presentan 4.

3.2.3 Procedimientos de operación, regeneración y laboratorio

Protocolo procedimiento corridas intercambio iónico y regeneración

Los procedimientos se abordan en dos frentes, procedimientos analíticos de los parámetros de medición en campo y los procedimientos operativos en la puesta en marcha del sistema.

Los procedimientos analíticos de los parámetros de medición se presentan en el Apéndice 2.

El paso a paso del procedimiento de puesta en marcha a seguir en cada corrida de cada escenario, para evaluar el desempeño de la resina frente a la variación de los caudales de alimentación al Vessel con la resina empacada. La Tabla 6, presenta el procedimiento en condición de operación, y la Tabla 7 en condición de regeneración de la resina.

La regeneración se hará manual y no se programará, ya que el inicio de esta dependerá de la identificación del punto de quiebre. En proceso de regeneración no se producirá agua tratada, se suspende el, modo de operación.

Tabla 6 Procedimiento operación sistema de intercambio iónico

Procedimiento	Descripción
Evaluación de la calidad inicial al menos 10 días antes de inicio	· Abrir válvula de agua cruda. · Toma de muestra de de agua cruda. · Medición en campo de parámetros de calidad N1, alcalinidad y dureza total, según procedimiento analíticos presentado en Apéndice 2. · Toma de muestra y refrigeración, para posterior análisis de parámetros N2 y sólidos disueltos totales en laboratorio certificado. · Consignar información de calidad medidos en sitio en el formato de datos de campo del Apéndice 3.
Calibración de caudal para arranque del sistema y corrida del sistema	· Abrir y calibrar válvula de alimentación de agua cruda del Vessel según Caudal y Velocidad de corrida en el escenario a evaluar. Caudal y velocidades se especifican para cada corrida en la Tabla 3. · Colocar el Vessel y sistema de válvulas en modo operación · Verificar en medidor de flujo, el caudal de alimentación. · Consignar dato de caudal y fecha/hora de inicio de corrida en el formato de datos de campo del Apéndice 3. · Verificación horaria del caudal y velocidad de corrida en el escenario a evaluar.
Evaluación de la calidad durante la operación.	Este procedimiento se realizará 12 veces durante el periodo de operación (hora de inicio hasta que alcance punto de quiebre). El intervalo de muestreo se presenta en la Tabla 3. · Toma de muestra de agua cruda y de agua tratada · Medición en campo para agua cruda y tratada de parámetros de calidad: turbiedad, color, alcalinidad, dureza total, pH, conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura según procedimientos presentado en Apéndice 2. · Consignar información de calidad medidos en sitio en el formato de datos de campo del Apéndice 3.
Caracterización de agua tratada	En la primera hora de operación y cuando se alcance el punto de quiebre. · Toma de muestra de agua de y refrigeración, para posterior análisis de parámetros N2, turbiedad, color, alcalinidad, dureza total, pH, conductividad y sólidos disueltos totales en laboratorio certificado.
Fin de operación del sistema	Cierra válvula de alimentación a Vessel

Tabla 7 Procedimiento regeneración medio de intercambio

Procedimiento	Descripción
Preparación de salmuera para regeneración	· Pesar la masa de sal a utilizar y aforar el volumen de agua a diluir según el escenario de trabajo. Ver Tabla 4. · Mezclar la sal y el agua en el tanque de solución regenerante.
Proceso de regeneración y enjuague	· Colocar de manera consecutiva el vessel en modo los siguientes modos. → Retrolavado (Backwash). → Regeneración (Regenerant Draw) → Enjuague lento (Slow Rinse) → Pausar el Sistema para presurizar (System Pause) → Primer ciclo de enjuague rápido (Fast rinse cycle 1) → Segundo retrolavado (Backwash cycle 2) → Segundo ciclo de enjuague rápido (Fast rinse cycle 2) · Toda el agua residual del proceso de regeneración, se almacenará en un recipiente etiquetado como “Agua regeneración” · Toda el agua residual del proceso de enjuague, se almacenará en un recipiente etiquetado como “Agua enjuague”
Evaluación de la calidad durante regeneración y enjuague	· Homogenizar el agua almacenada en cada uno de los recipientes. · Del recipiente “Agua regeneración”, tomar una muestra de y refrigerar, para posterior análisis de parámetros Decreto 33601 y cloruros en laboratorio certificado. · Del recipiente “Agua enjuague”, toma de muestra y refrigeración, para posterior análisis de parámetros N1, N2 y N3. en laboratorio certificado. · El agua de cada uno de los enjuagues se tomará el volumen y tiempo de descarga para la estimación del caudal. Consignar información en el formato de datos de campo del Apéndice 3.
Fin de operación del sistema	Cambiar sistema de válvulas y el modo a alimentación y operación del Vessel.

4 Bibliografía

Edzwald JK, Malley JP (2011) Water quality and treatment, 6th edn. McGraw-Hill, New York. ISBN 978-0-07-163011-5

ANEXOS

ANEXO 1

FICHAS TÉCNICAS RESINA Y REGENERANTE

RESINTECH INC
INNOVATIONS IN ION EXCHANGE

CG8-C

CATION EXCHANGE RESIN
COARSE MESH STRONG ACID GEL
8% DVB, Na FORM

RESINTECH CG8-C is a sodium form 8% crosslinked gel strong acid cation resin. *CG8-C* is a coarse mesh resin with low surface area and high void volume. *RESINTECH CG8-C* is intended for use in high flow rate applications where the lowest possible pressure loss and highest possible flow rate is needed. *CG8-C* is supplied in the sodium form.

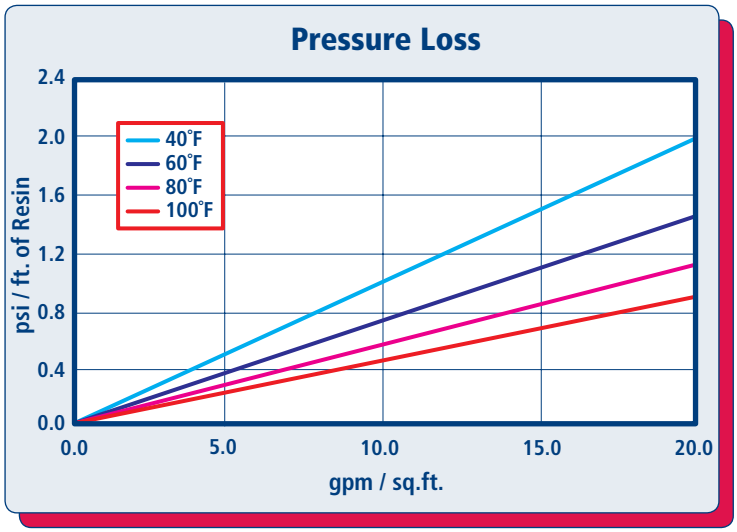
NSF/ANSI-61 CERTIFIED FOR MATERIAL SAFETY
WQA Gold Seal Certified when ordered as CG8-C-HP

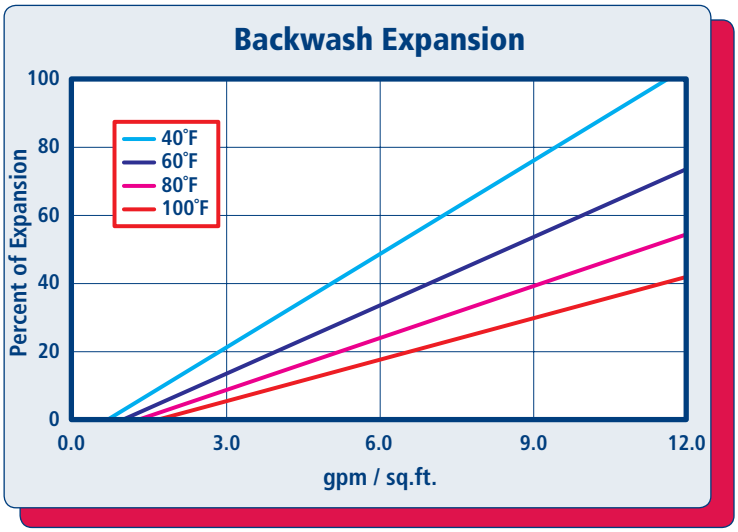
FEATURES & BENEFITS

- **HIGHLY UNIFORM COARSE PARTICLE SIZE**
  16 to 30 mesh size provides low pressure drop in high flowrate applications and helps prevent suspended solids from restricting flow
- **LOW COLOR THROW**
- **SUPERIOR PHYSICAL STABILITY**
  93% plus sphericity and high crush strengths together with carefully controlled particle distribution provides long life and low pressure drop
- **COMPLIES WITH US FDA REGULATIONS**
  Conforms to paragraph 21CFR173.25 of the Food Additives Regulations of the US FDA

Prior to first use for potable water, resin should be backwashed for a minimum of 20 minutes, followed by 10 bed volumes of downflow rinse.

HYDRAULIC PROPERTIES





PRESSURE LOSS

The graph above shows the expected pressure loss of *ResinTech CG8-C* per foot of bed depth as a function of flow rate at various temperatures.

BACKWASH

The graph above shows the expansion characteristics of *ResinTech CG8-C* as a function of flow rate at various temperatures.

160 Cooper Road • West Berlin, NJ 08091 USA • p: 856.768.9600 • f: 856.768.9601 • e: ixresin@resintech.com • w: resintech.com

RESINTECH® CG8-C

PHYSICAL PROPERTIES

Polymer Structure	Styrene/DVB
Polymer Type	Gel
Functional Group	Sulfonic Acid
Physical Form	Spherical beads
Ionic Form as shipped	Sodium
Total Capacity	
Sodium form	>2.0 meq/mL
Water Retention	
Sodium form	42 to 49 percent
Approximate Shipping Weight	
Sodium form	52 lbs./cu.ft.
Screen Size Distribution (U.S. mesh)	16 to 30
Maximum Fines Content (<50 mesh)	1 percent
Minimum Sphericity	93 percent
Uniformity Coefficient	1.4 approx.
Resin Color	Amber

Note: Physical properties can be certified on a per lot basis, available upon request

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

Maximum continuous temperature	
Sodium form	280˚F
Minimum bed depth	24 inches
Backwash expansion	25 to 50 percent
Maximum pressure loss	25 psi
Operating pH range	0 to 14 SU
Regenerant Concentration	
Salt cycle	10 to 15 percent NaCl
Regenerant level	4 to 15 lbs./cu.ft.
Regenerant flow rate.	0.5 to 1.5 gpm/cu.ft.
Regenerant contact time	>20 minutes
Displacement flow rate	Same as dilution water
Displacement volume	10 to 15 gallons/cu.ft.
Rinse flow rate	Same as service flow
Rinse volume	35 to 60 gallons/cu.ft.
Service flow rate	1 to 10 gpm/cu.ft.

Note: These guidelines describe average low risk operating conditions. They are not intended to be absolute minimums or maximums.
For operation outside these guidelines, contact ResinTech Technical Support

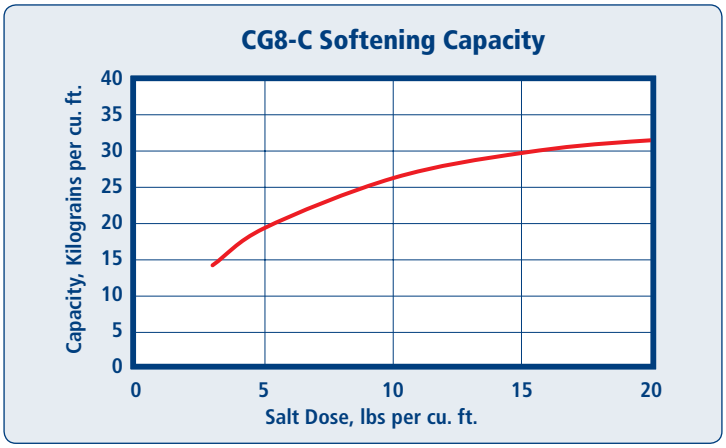
APPLICATIONS

HIGH FLOW RATE USE

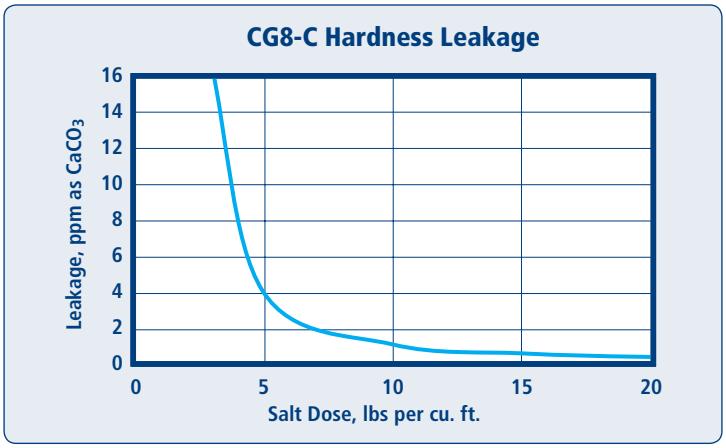
ResinTech CG8-C is made with a large bead size which increases the void spaces between the beads and reduces the surface area, thus reducing the resistance to water flow through the resin bed. Because the resin bed has lower pressure loss the resin can operate at high flow rates. High flow rates are useful in polishing applications where a large resin volume is not needed to provide a long throughput between regenerations. It should be understood that the rate of ion exchange is somewhat slower due to the large bead size.

SOFTENING

ResinTech CG8-C is an 8% crosslinked cation resin optimized for industrial softening applications. CG8-C is suitable for hot water applications and for waters that contain modest levels of chlorine.



Capacity and leakage data are based on the following: 2:1 Ca:Mg ratio, 500 ppm TDS as CaCO3, 0.2% hardness in the salt and 10% brine concentration applied co-currently through the resin over 30 minutes. No engineering downgrade has been applied.



ResinTech Inc. Innovations in Ion Exchange

East Coast - West Berlin, NJ p:856.768.9600 • Midwest - Chicago, IL p:708.777.1167 • West Coast - Los Angeles, CA p:323.262.1600

CAUTION: DO NOT MIX ION EXCHANGE RESIN WITH STRONG OXIDIZING AGENTS. Nitric acid and other strong oxidizing agents can cause explosive reactions when mixed with organic materials, such as ion exchange resins.

MATERIAL SAFETY DATA SHEETS (MSDS) are available for all ResinTech Inc. products. To obtain a copy, contact your local ResinTech sales representative or our corporate headquarters. They contain important health and safety information. That information may be needed to protect your employees and customers from any known health and safety hazards associated with our products. We recommend that you secure and study the pertinent MSDS for our products and any other products being used. These suggestions and data are based on information we believe to be reliable. They are offered in good faith. However we do not make any guarantee or warranty. We caution against using these products in an unsafe manner or in violation of any patents; further we assume no liability for the consequences of any such actions.

ResinTech is a registered trademark ® of RESINTECH INC.

Morton® System Saver® II Formula Pellets

PDS 3350
1/14
Rev 3

Description

Morton® System Saver® II Pellets for recharging water softeners are compressed from either vacuum granulated salt or solar salt incorporating evenly dispersed concentrations of soluble resin cleaning additives. The formula of the resin cleaning additives is patented. The pellets have a minimum purity of 99.7% sodium chloride. This product is certified to ANSI/NSF Standard 60.

Use

System Saver® II Pellets are designed for use in home and light commercial water softeners and other ion-exchange water treatment processes in which sodium chloride is used for resin regeneration. The product can be applied effectively in all designs of softener brine tanks. The formula is not abusive to softener parts and resin. It is compatible with chemicals and specialized resins used in treatments for iron and other foulants. Cleansing additives are thoroughly flushed from the system during resin regeneration.

System Saver® II Pellets help prevent resin fouling and will retard the gradual decline in softening capacity with with water containing up to 2 ppm iron, thus, extending the life of the softener*.

**Based on external laboratory testing of continuous use of System Saver® II versus plain salt over the life of the softener, using hard water with an average clear-water (ferrous) iron content of 1.1 ppm.*

Benefits

System Saver® II Pellets provide a continuous feed of a mild cleansing formula with each resin regeneration, helping to flush accumulated dirt, bacterial and organic residues, and various iron, calcium and silica mineral deposits from the complete softener system. Continuous cleansing inhibits resin fouling and clogging of valves, extending the operating life of the entire system. This enhances soft water quality, reducing turbidity and insolubles, and delays hardness breakthrough producing cleaner, clearer water.

Pellet Size

Typical pellet size dimensions are 1" long, 5/8" wide and 3/8" thick. Pellets from Glendale, AZ have typical dimensions of 1-1/4" long, 3/4" wide and 1/2" thick.

Chemical Properties

The principal salt impurity is either calcium sulfate or sodium sulfate. Other impurities may consist of traces of calcium chloride, magnesium sulfate, and magnesium chloride.

Analysis

	Range
[1]Sodium Chloride (%)	99.7 Minimum
Water Insolubles (%)	0.1 Maximum

[1]By difference of impurities and before additives, moisture-free basis (ASTM procedures).

Voids/Break Strength

Typical compacted bulk density is 1.1 g/ml (68 lbs/ft^3). Initial voids immersed in water are 48 - 52%. Void capacity does not vary significantly over several regeneration cycles in a softener brine tank.

System Saver® II Pellets conform to a rigid strength standard. Pellets are compressed sufficiently hard to reduce a defect called mushing, a disintegration of the pellet structure upon prolonged immersion in brine. Severe mushing can result in bridging and channeling of the salt mass, reducing the strength or volume of brine, and leading to incomplete resin regeneration and premature hardness breakthrough.

Storage/Coding

Chemically stable. Store indoors or cover with black plastic to protect from wetting or direct sunlight. Packaging can disintegrate upon prolonged exposure to UV radiation. Minimum storage life of one year if properly stored. A manufacturing lot code appears on bottom bag seam.

Plants

U.S.A. -- Glendale, AZ; Newark, CA; Port Canaveral, FL; Hutchinson, KS; Manistee, MI; Silver Springs, NY; Rittman, OH; Grand Saline, TX; and Grantsville, UT.

Canada -- Windsor, ON (Affiliate K+S Windsor Salt Ltd.)

Form 273-3 (G)

MORTON SALT, INC.
123 North Wacker Drive, Chicago, IL 60606-1743 www.mortonsalt.com

Water Conditioning

Codes

Film Bags	Material Code	UPC Code
25 lb	F114990000	0 24600 01499 1
40 lb	F115000000	0 24600 01500 4
50 lb	F115010000	0 24600 01501 1
60 lb	F115290000	0 24600 01529 5

Packaging

White polyethylene film bags. 25 lb. and 40 lb. bags have a rigid plastic handle and easy open feature.

Unit Dimensions			
Net Wt. (lb)	**Gross Wt. (lb)**	**L x W x H (in)**	**Cube (ft^3)**
25	25.3	16 x 12 x 3	0.3
40	40.3	21 x 13 x 4	0.6
50	50.5	22 x 14 x 4.5	0.8
60	60.4	24 x 17 x 4.25	1.0

Palletized*						
Bag Size	**Tiers**	**Bags/ Tier**	**Bags/ Pallet**	**Gross Wt. (lb)**	**Ht. (in)**	**Cube (ft^3)**
25	10	10	100	2600	35	39
40	9	7	63	2609	37	43
50	7	7	49	2545	34	42
60	8	5	40	2416	40	44

**Includes 48" x 40" standard wood pallet @ 70 lbs.*

Bag Art

These data are based on information we believe to be reliable. They are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. We recommend that the prospective user determines the suitability of our material and suggestions before adopting them on a commercial scale.

MORTON SALT, INC.
123 North Wacker Drive, Chicago, IL 60606-1743 www.mortonsalt.com

ANEXO 2

CALIDAD DE AGUA RETO UTILIZADA EN CALCULOS

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 279-5118
Fax: (506) 279 5973
email: dmora@aya.go.cr

LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-12214-2016

Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº. LE-049
Acreditado a partir de: 11.02.2008
Alcance disponible en www.eca.or.cr

DATOS DE LA MUESTRA

Cliente:	REGION PACIFICO CENTRAL			**Proc. muestreo**	AYA-PT-019-5
Contacto:	Ing. German Araya Montezuma			**Muestreado por**	Canales Canales J
SISTEMA:	**PC-A-18-PUNTARENAS**			**Fecha de muestreo**	23-nov-16
				Fecha de ingreso :	24-nov-16
Muestreo:	POZO SOCORRITO 3			**Fecha de Reporte:**	28-nov-16
Dirección:	LLAVE DE CHORRO			**Inicio Análisis MIC:**	24-nov-16
				Teléfono:	2663-67-98
PROVINCIA:	Puntarenas	**CANTON:**	Puntarenas	**Tipo de muestra:**	Agua
e-mail:	garayam@aya.go.cr	**Fax:**		**Hora de recolección:**	10:00

DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	142	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	27,4	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	0,5	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	79,2	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	86,53	mg/L	0,81	1,30	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Coliformes fecales	*	Negativo	NMP/100 mL				9223 B	Negativo	Negativo
Color Aparente	*	N.D.	UPt-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	557	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	197	mg/L	2,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	277	mg/L	2,0	2,0	3,0	2340 C	300	400
E.coli	*	Negativo	NMP/100 mL				9223 B	Negativo	Negativo
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,040	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,80	4110B Cro		
Hierro	*	89,1	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	19,3	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	35,17	mg/L	0,53	0,81	1,40	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,040	0,10	4110B Cro		0,1
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable

INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago
Teléfono: (506) 279-5118
Fax: (506) 279 5973
email: dmora@aya.go.cr

LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-12214-2016

Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº. LE-049
Acreditado a partir de: 11.02.2008
Alcance disponible en www.eca.or.cr

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
pH	*	6,66		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	0,6	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	N.D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Sabor	**	Aceptable	N.A.		.		2160 B	Aceptable	Aceptable
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	3,6	mg/L	1,9	2,0	2,5	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	109,34	mg/L	0,79	0,81	1,60	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	28,4	ºC	0,10			2550 B	18 a 30) º	
Turbiedad	*	2,80	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	4,1	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza
LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado
LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado
N.D.: No detectable bajo el límite de detección
D.: Detectable pero no cuantificable
METODO: Correponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
* Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

**** Ensayo no acreditado**

Condiciones Ambientales:

Observaciones:

Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohibe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

A. Urbina C.

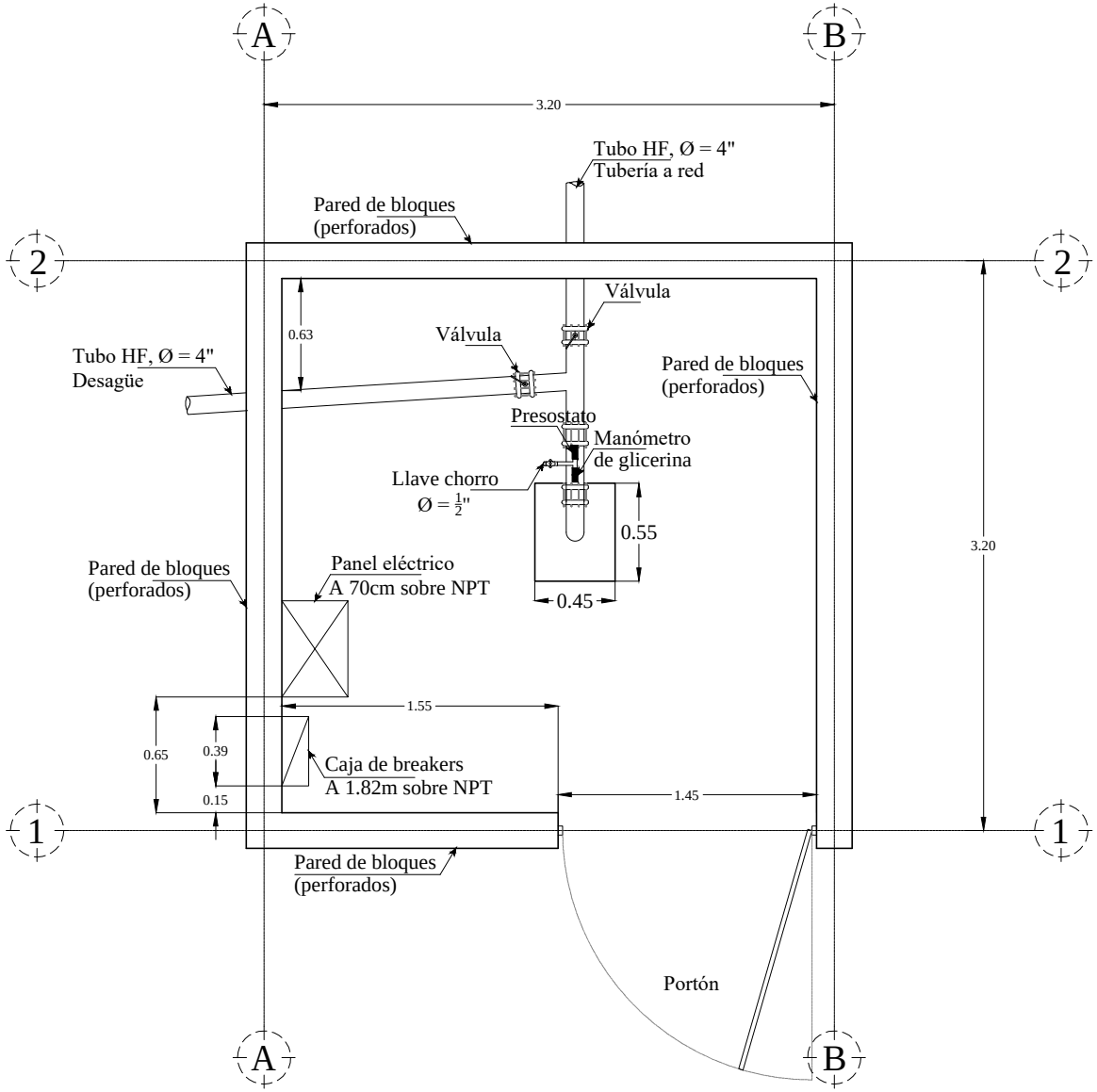
Licda. Azucena Urbina Campos
Jefe del Laboratorio Quimica

Dra. Johanna Méndez Araya
Jefe del Laboratorio Microbiología

APÉNDICES

APÉNDICE 1

PLANOS



DISTRIBUCIÓN EN PLANTA (Existente)
Escala 1:40

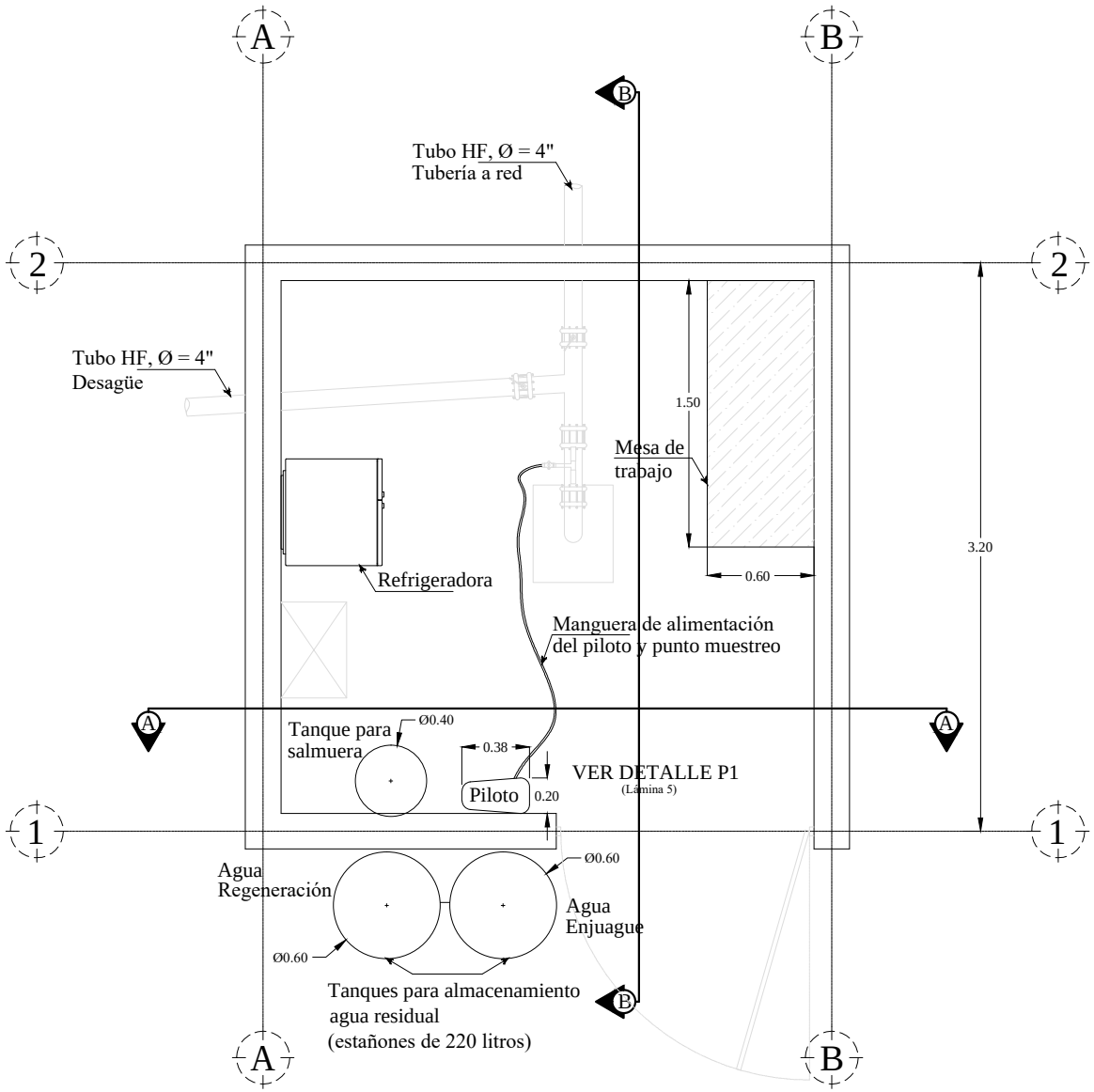
"Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua¨

Fundación Tecnológica de Costa Rica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Química
Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)

Profesionales:
Dr. Ing. Luis G. Romero Esquivel
M.Ing. Diana Zambrano Piamba
M.Ing. Braulio E. Umaña Quirós

Contenido:
Distribución en planta

Escala	Fecha	Lámina
Indicada	28/Enero/2019	1/5



PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS
Escala 1:40

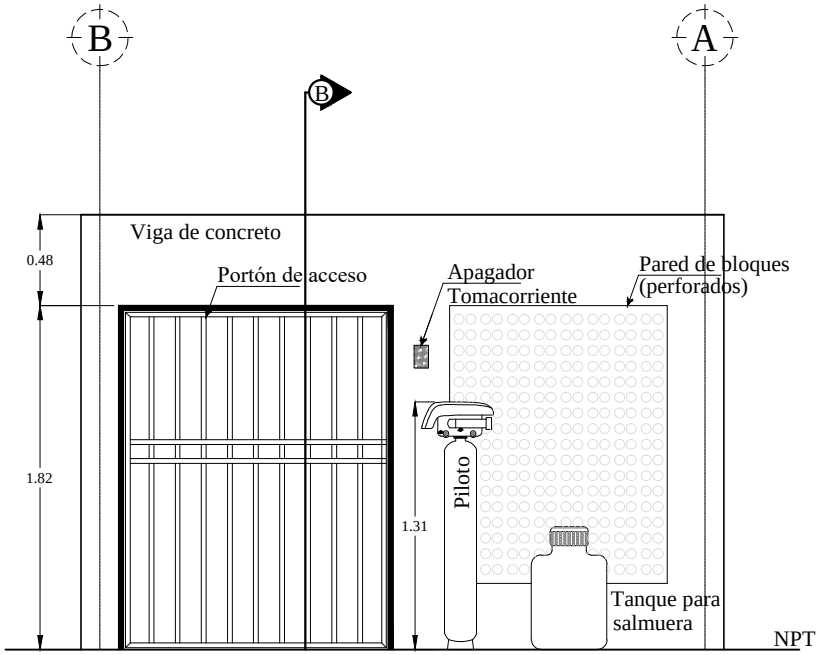
"Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua¨

Fundación Tecnológica de Costa Rica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Química
Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)

Profesionales:
Dr. Ing. Luis G. Romero Esquivel
M.Ing. Diana Zambrano Piamba
M.Ing. Braulio E. Umaña Quirós

Contenido:
Propuesta de distribución de materiales y equipos

Escala	Fecha	Lámina
Indicada	28/Enero/2019	2/5



Para el piloto se instalará un soporte y se anclará a la pared, aprovechando los agujeros de los bloques de la pared.

CORTE A-A
Escala 1:40

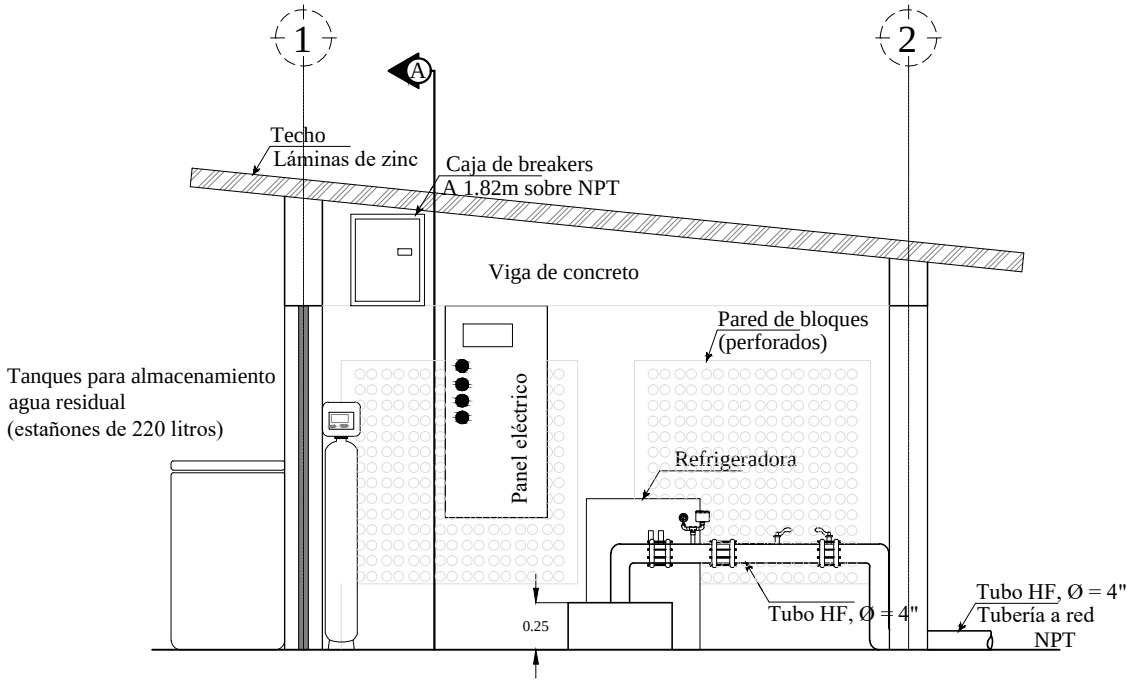
"Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua¨

Fundación Tecnológica de Costa Rica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Química
Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)

Profesionales:
Dr. Ing. Luis G. Romero Esquivel
M.Ing. Diana Zambrano Piamba
M.Ing. Braulio E. Umaña Quirós

Contenido:
Corte A-A

Escala	Fecha	Lámina
Indicada	28/Enero/2019	3/5



CORTE B-B
Escala 1:40

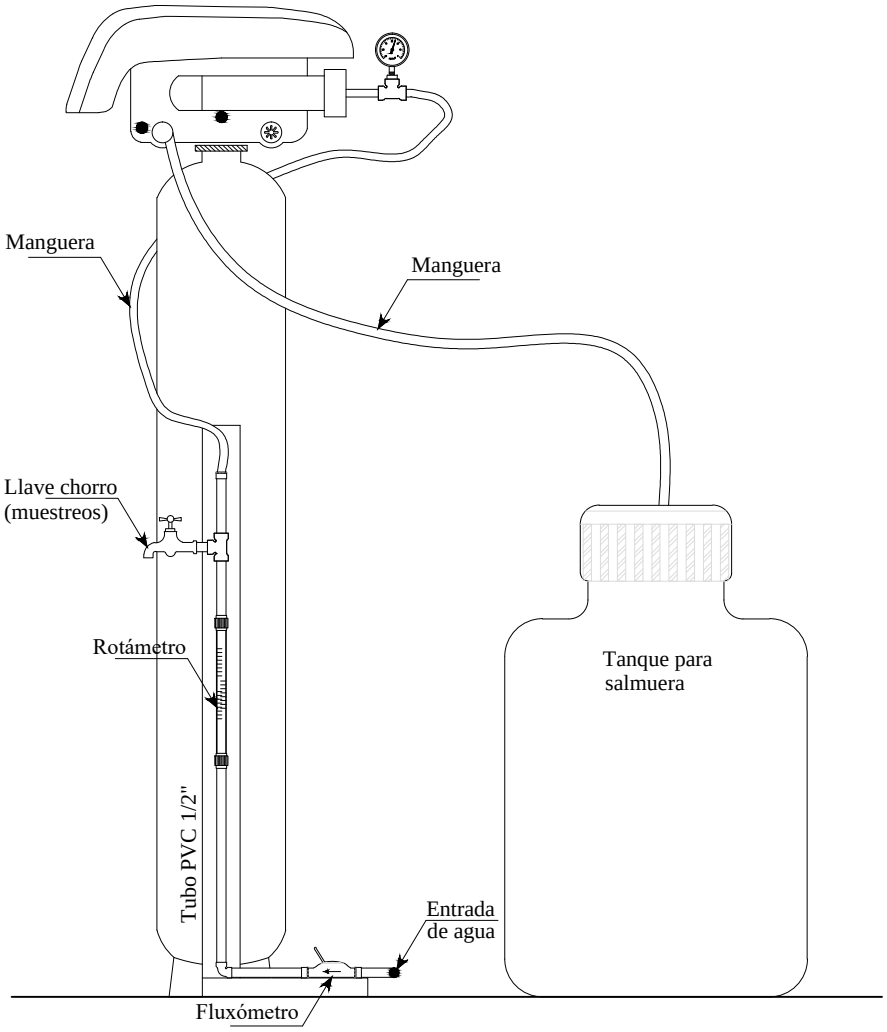
"Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua¨

Fundación Tecnológica de Costa Rica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Química
Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)

Profesionales:
Dr. Ing. Luis G. Romero Esquivel
M.Ing. Diana Zambrano Piamba
M.Ing. Braulio E. Umaña Quirós

Contenido:
Corte B-B

Escala	Fecha	Lámina
Indicada	28/Enero/2019	4/5



DETALLE P1
Escala 1:10

"Generación de criterios de diseño aplicables a sistemas de intercambio iónico, a partir de ensayos para evaluación detallada de un sistema piloto para mejora de calidad de agua¨

Fundación Tecnológica de Costa Rica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Química
Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)

Profesionales:
Dr. Ing. Luis G. Romero Esquivel
M.Ing. Diana Zambrano Piamba
M.Ing. Braulio E. Umaña Quirós

Contenido:
Detalle P1

Escala	Fecha	Lámina
Indicada	28/Enero/2019	5/5

APÉNDICE 2

PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS MEDICIÓN PARÁMETROS

PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS A EMPLEAR EN SITIO

MEDICIÓN DE PH, SOLIDOS TOTALES DISUELTOS Y CONDUCTIVIDAD

Para la determinación de pH, conductividad y sólidos totales disueltos se utilizará un equipo de medición multiparámetro marca Hanna Instrumennts modelo HI9812-5.

El electrodo del equipo se apoyará en un soporte y se utilizará un agitador magnético para garantizar una agitación homogenea durante la calibración de cada parámetro y la medición de cada muestra. Al inicio del día se calibrarán los tres parámetros del equipo según el manual de usuario y utilizando los patrones apropiados. Posteriormente, entre cada muestra, se verificará el valor de un patrón apropiado.

Seguidamente se detalla el procedimiento específico.

MEDICIÓN DE PH

Para la lectura de pH se procederá de la siguiente forma:

a) Sacar el electrodo de la disolución reguladora, lavarlo con abundante agua destilada y secarlo con papel adsorbente.
b) Introducir el electrodo en la muestra a la cual se le va a determinar el pH, verificar que no queden burbujas de aire atrapadas en la sonda. Seleccionar el botón de pH.
c) Agitar manualmente hasta que se estabilice la lectura.
d) Anotar el pH que se muestra en la pantalla.

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

a) En la misma muestra, luego de anotar la lectura de pH, seleccionar el botón de SDT.
b) Esperar un par de minutos y anotar el valor de SDT que se muestra en la pantalla.

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD

a) En la misma muestra, luego de anotar la lectura de SDT , seleccionar el botón de EC.
b) Esperar un par de minutos y anotar el valor de conductividad (µs/cm) que se muestra en la pantalla.

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE COLOR

El equipo utilizado para la medición de color es el modelo HACH DR900. Se medirá un patrón al inicio de cada día para comprobar la calibración del equipo. Para la lectura de color se debe proceder de la siguiente forma:

a) Encender el equipo con el botón Star y seleccionar el programa 122 color (420nm)
b) Preparar un blanco colocando 10 mL de agua ultra pura en en la celda 25mm.
c) Limpiar la celda y secar con papel adsorbente suavemente.
d) Insertar la celda en el soporte y presionar el botón zero.
e) En la misma celda de 25mm enjuagar con la muestra de agua tres veces.
f) Agregar 10 mL de muestra en la celda 25mm.

g) Limpiar la parte externa de la celda y secar con papel adsorbente suavemente.
h) Insertar la celda de muestra en el soporte.
i) Esperar 10 segundos y presione el botón “LEER”.
j) Anotar el valor de color que aparece en la pantalla (unidades de color Pt-Co).

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE TURBIEDAD

El equipo utilizado para la medición de turbiedad es el modelo HACH 2100Q. El equipo se calibrará según el manual de usurio al inicio de cada día. Para la lectura de turbiedad se debe proceder de la siguiente forma:

a) Encender el equipo con el botón Star
b) Enjuagar la celda con agua ultra pura y tres veces con la muestra
c) Agregar 10 mL de muestra en la celda.
d) Agregar una gota de silicon aceite en la parte superior, limpiarlo con un paño adsorbente.
e) Insertar la celda de muestra en el soporte.
f) Presionar el botón “READ”.
g) Anotar el valor de turbiedad que aparece en la pantalla (ntu)

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE ALCALINIDAD TOTAL

Preparación de Reactivos y Disoluciones

1. Agua desionizada libre de dióxido de carbono:
   Debe usarse para la preparación de todas las disoluciones, si tiene un pH menor a 6,0 debe ser hervida por 15 minutos, enfriada a temperatura ambiente y usada inmediatamente.

2. Disolución patrón de carbonato de sodio 0,05 N:
   a) Secar de 3 a 5 g de estándar primario de Na_2CO_3 a 250ºC durante 4 horas y se enfría en desecador.
   b) Pesar 0,53 g de Na_2CO_3 con una precisión de 0,1 mg y disolver adecuadamente en un beaker con suficiente agua desionizada.
   c) Transferir la disolución anterior cuantitativamente a un balón de 200 mL y se afora.
3. Disolución aproximada de ácido sulfúrico 0,1N:
   a) Disolver aproximadamente 5,6 mL de ácido sulfúrico concentrado (98% m/m, d=1,84 g/mL) en un balón de 2 L con agua desionizada.

5. Disolución aproximada de ácido sulfúrico 0,02 N:

   a) Medir aproximadamente 50 mL de ácido sulfúrico 0,1 N y se disuelven hasta aforar con agua desionizada en un balón de 250,00 mL.

6. Estandarización de la disolución aproximada de ácido sulfúrico 0,02 N:

a) La valoración de la disolución del ácido se realiza por triplicado, mientras que la del blanco se hace por duplicado. La siguiente disposición de las sustancias en la bureta y erlenmeyer se hace para facilitar la detección del punto final.
b) En un erlenmeyer de 250 mL se debe colocar una alícuota de 10,00 mL de la disolución aproximada de H_2SO_4 0,02 N.
c) Anadir agua desionizada para diluir hasta 50 mL.
d) Agregar 5 gotas de indicador de fenolftaleína (no se muestra coloración).
e) En una bureta de 50,00 mL se debe agregar la disolución patrón de Na_2CO_3 0,05 N y se procede a realizar la valoración hasta que se presente una coloración ligeramente rosada.
f) Anotar el volumen consumido del valorante para cada réplica de la disolución del ácido y del blanco.

7. Indicador acuoso anaranjado de metilo: 0,5 g/L.
8. Indicador de fenolftaleína 5 g/L:
   a) Disolver 0,5 g de fenolftaleína en 50 mL de etanol al 95% y añadir 50 mL de agua.

Valoración de la Muestra

Las siguientes valoraciones se realizan para la muestra por triplicado y el blanco por duplicado.

A. Alcalinidad total (pH 4,4).

a) Coloca la disolución patrón de H_2SO_4 0,02 N en una bureta de 50 mL.
b) Transferir un volumen adecuado de la muestra (50,00 mL ó 100 mL) a un erlenmeyer de 250 mL.
c) Agregar de dos a cinco gotas del indicador indicador anaranjado de metilo en el erlenmeyer.
d) Valorar la muestra con la disolución patrón del H_2SO_4 0,02 N hasta el cambio de color de anaranjado a rojo (punto final a pH de 4,4).
e) Anotar el volumen de H_2SO_4 consumido al anaranjado de metilo.

Cálculo y expresión de Resultados

a. La normalidad del ácido sulfúrico patrón se calcula como:

$$N = \frac{A\ x\ B}{53{,}00\ x\ CxD}$$

donde:

N = normalidad del ácido sulfúrico en eq/L.

A = g Na_2CO_3 pesados en balón para preparar la disolución 0,05 N.
B = mL de valorante consumidos (Na_2CO_3).
C = alícuota en mL de sustancia valorada (H_2SO_4).
D= capacidad en L del balón empleado para preparar la disolución de Na_2CO_3 0,05 N.

c. El valor de la Alcalinidad Total para la muestra se calcula como:

$$Alcalinidad\ Total, \frac{mg}{L} CaCO_3 = \frac{V_{total} x N x 50000}{mL\ muesrta}$$

donde:

V_{total} = mL de H_2SO_4 consumidos a la Fenolftaleína + mL de H_2SO_4 consumidos al Anaranjado de Metilo.

N = normalidad del ácido sulfúrico utilizado para la determinación. mL de muestra= alícuota de la muestra analizada.

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE DUREZA TOTAL

Preparación de Reactivos y Disoluciones

1. Disolución Acuosa de Etilendiaminotetracetato (EDTA)
   a) Pesar en una balanza granatoria 1,0g de EDTA.
   b) Agregar 1,0g de EDTA en un matraz Erlenmeyer de 250mL
   c) Con una probeta de 250mL colocar 150mL de agua ultra pura en un matraz Erlenmeyer de 250mL
   d) Agitar suavemente hasta que se disuelva en EDTA en el agua.
   e) Trasvasar la disolución contenida en el matraz Erlenmeyer a una probeta de 500ml y afore hasta los 50mL.
   f) Almacenar la disolución en una botella ámbar forrada con aluminio.

Valoración de la Muestra

a) Con una micropipeta automática se deben colocar 20mL de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 250mL
b) Agregar 35 mL de agua UP
c) Añadir 4 gotas de indicador Eriocromo negro T (ETN)
d) Añadir 4mL de disolución reguladora de pH.
e) Valorar con disolución valoradora de EDTA 0.01M colocada en una bureta, hasta el vire del indicador de rojo vino a azul.
f) Realizar un Blanco con las mismas cantidades de reactivos pero sin la muestra, en su lugar añadir 5 mL de agua UP.
g) Anotar el volumen de EDTA consumido para que se dé el viraje a color azul.

Cálculo y expresión de Resultados

$$Dureza\ (\frac{mg\ CaCO_3}{1\ L\ muestra}) = \frac{mol\ EDTA}{1\ l\ EDTA} \times \frac{mL\ EDTA}{mL\ muestra} \times \frac{1000\ mL\ muestra}{1\ L\ muestra} \times \frac{1\ L\ EDTA}{1000\ mL\ EDTA} \times \frac{1\ mol\ Ca^{2+}}{1\ mol\ EDTA} \times \frac{1\ mol\ CaCO_3}{1\ mol\ Ca^{2+}} \times \frac{100{,}1\ g\ CaCO_3}{CaCO_3} \times \frac{1000\ mg\ CaCO_3}{1\ g\ CaCO_3}$$

Procedimientos de análisis a realizar por el laboratorio acreditado Centro de Investigación y de Servicios Quimicos y Microbiologicos CEQIATEC.

En la Tabla A1 se detallan los procedimientos de los parámetros solicitados en los términos de referencia. Se especifica el método y el nombre respectivo según el Standard Methods (2017).

Tabla A1. Parámetros y métodos estándar de medición

Parámetro	Método	Nombre del método
Coliformes fecales en aguas (*)	Standard methods 9221 E	Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure
E. coli en aguas (*)	Standard methods 9221 F	Eschelichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate
Color en aguas (**)	Standard methods 2120-C	Spectrophotometric - Single - - Wavelength Method (PROPOSED)
Turbidez en aguas (**)	Standard methods 2130 – B	Nephelometric Method
Temperatura en aguas (*)	Standard methods 2550 – B	Laboratory and Field Methods
pH en aguas (*)	Standard methods 4500H+-B	pH Value Electrometric Method
Conductividad en aguas (*)	Standard methods 2510-B	Laboratory Method
Cloro residual libre en aguas (**)	Standard methods 4500 Cl-G	DPD Colorimetric Method
Olor en aguas (**)	Standard methods 2150	ODOR*
Sabor en aguas (**)	Standard methods 2160	TASTE*
N2		
Dureza Total en aguas (*)	Standard methods 2340 – B	Hardness by Calculation
Cloruros en aguas (*)	Standard methods 4110-B	Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity
Fluoruro en aguas (*)	Standard methods 4110-B	Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity

Parámetro	Método	Nombre del método
Nitratos en aguas (*)	Standard methods 4110-B	Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity
Sulfatos en aguas (*)	Standard methods 4110-B	Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity
Aluminio en aguas (**)	Standard Methods 3111-D	Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method
Calcio en aguas (*)	Standard Methods 3111-B	Direct Air-Acetylene Flame Method
Magnesio en aguas (*)	Standard methods 3111 – B	Direct Air-Acetylene Flame Method
Sodio en aguas (*)	Standard methods 3500 Na-B	Flame Emission Photometric Method
Potasio en aguas (*)	Standard methods 3500 K-B	Flame Photometric Method
Hierro en aguas (*)	Standard methods 3111 – B	Direct Air-Acetylene Flame Method
Manganeso en aguas (*)	Standard methods 3111 – B	Direct Air-Acetylene Flame Method
Zinc en aguas (*)	Standard methods 3111 – B	Direct Air-Acetylene Flame Method
Cobre en aguas (*)	Standard methods 3111-B	Direct Air-Acetylene Flame Method
Plomo en aguas (**)	Standard methods 3113-B	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method
N3		
Arsénico en aguas (**)	Standard Methods 3113-B	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method
Cadmio en aguas (**)	Standard Methods 3113-B	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method
Cromo en aguas (**)	Standard methods 3113-B	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method
Níquel en aguas (**)	Standard methods 3113-B	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method
Amonio en aguas (**)	PT-QU-25	
Mercurio en aguas (**)	Standard methods 3112-B	Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method

Parámetro	Método	Nombre del método
Selenio en aguas (**)	Standard methods 3113-B	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method
Antimonio en aguas(**)	Standard Methods 3113-B	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method
Nitritos en aguas (**)	Standard methods 4110-B	Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity
Cianuro en aguas (**)	--	
Agua Residual		
Cloruros en agua residual (**)	Medición Directa	
Medición de caudal (**)	Volumétrica	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en agua residual (*)	Standard Methods 5210-B	5- Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO) en agua residual (**)	Standard Methods 5220-D	Closed Reflux, Colorimetric Method
pH en agua residual (*)	Standard Methods 4500-H^+-B	pH Value Electrometric Method
Grasas y Aceites en agua residual (*)	Standard Methods 5520-B	Liquid - Liquid, Partition-Gravimetric Method
Sólidos Sedimentables agua residual (*)	Standard Methods 2540-F	Settleable Solids
Sólidos Suspendidos totales en agua residual (*)	Standard Methods 2540-D	Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C
SAAM (Sustancias Activas al Azul de Metileno) en agua residual (**)	PT-QU-24	
Temperatura en agua residual (*)	Standard Methods 2550-B	Laboratory and Field Methods

Referencias

APHA, AWWA, WEF (2017) Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 23 ed. Washington, DC: American Public Health Association.

APÉNDICE 3

FORMATOS DE CAMPO TOMA DE DATOS

Escenario

Estado de la resina Nueva _____ Regenerada _____

Caudal L/min _____

Velocidad de operación m/h _____

Tempo total de la corrida horas _____

CRUDA														TRATADA										
Hora	Presión	Turbiedad	Color	pH	Conductividad	Dureza				Alcalinidad				Turbieda	Color	pH	Conductividad	Dureza				Alcalinidad			
						Volumen inicial	Volumen final	Volumen	Dureza	Volumen inicial	Volumen final	Volumen	Alcalinidad					Volumen inicial	Volumen final	Volumen	Dureza	Volumen inicial	Volumen final	Volumen	Alcalinidad
	PSI	UNT	UPC		µS/cm^2	ml	ml	ml	mg $CaCO_3$/L	ml	ml	ml	mg $CaCO_3$/L	UNT	UPC		µS/cm^2	ml	ml	ml	mg $CaCO_3$/L	ml	ml	ml	mg $CaCO_3$/L

Escenario

Estado de la resina Nueva _____ Regenerada _____ Indicar número de lavado _____

Tempo total del proceso horas _____

Área transversal recipiente almacenamiento _____ m2

Proceso	Hora inicial	Hora final	Tiempo	Altura	Volumen	Caudal	Turbiedad	Color	pH	Conductividad	Dureza				Alcalinidad			
											Volumen inicial	Volumen final	Volumen	Dureza	Volumen inicial	Volumen final	Volumen	Alcalinidad
			s	m	L	l/s	UNT	UPC		$\mu S/cm^2$	ml	ml	ml	mg $CaCO_3$/L	ml	ml	ml	mg $CaCO_3$/L