

Pretratamiento al agua de entrada al proceso de desmineralización de la empresa Ernesto Che Guevara



Entry water pre-treatment of the Ernesto Che Guevara company demineralization process

<http://opn.to/a/cSr6S>

Aimet Rómulo-Rodríguez ^{1*}, Sorangel Rivas-Romero ¹, Gerardo Menés-Vuelta ²

RESUMEN: En el Centro de Investigaciones del Níquel se desarrolló una investigación donde se evaluó el pretratamiento al agua de entrada del proceso de desmineralización de la Empresa Productora de Níquel Ernesto Che Guevara, mediante la aplicación de un tratamiento de ablandamiento en frío, coagulación-floculación y filtración con el objetivo de disminuir el consumo de regenerantes de las resinas catiónicas y aniónicas utilizadas en el proceso. Mediante corridas a escala de laboratorio se logró disminuir el 13,98 % de la alcalinidad total inicial, el 6,85 % de los sólidos totales disueltos, 8,33 % de la dureza total y 1,79 % de la sílice; lo que se revirtió en un ahorro de más del 50 % de los regenerantes: ácido sulfúrico, sosa y cloruro de sodio, lo que traería consigo un impacto positivo al disminuir el vertimiento al medio ambiente de estos reactivos.

Palabras clave: agua, ablandamiento, pretratamiento.

ABSTRACT: At the Nickel Research Center, a research was carried out to evaluate the pretreatment to the inlet water of the demineralisation process of The Ernesto Che Guevara Nickel Production Company, through the application of a cold softening, coagulation-flocculation and filtration treatment with the aim of reducing the consumption of regenerants of the cationic and anionic resins used in the process. Through runs at laboratory scale, 13,98% of the total initial alkalinity, 6,85% of the total dissolved solids, 8,33% of the total hardness and 1,79% of the silica were reduced; what was reversed in a saving of more than 50 % of the regenerants: sulfuric acid, soda and sodium chloride, which would bring a positive impact by reducing the release into the environment of these reagents.

Keywords: water, softening, pretreatment.

INTRODUCCIÓN

La Empresa Ernesto Che Guevara dentro de sus procesos auxiliares tiene la Planta Termoenergética, encargada de producir el vapor del proceso de destilación y el vapor de precalentamiento del combustible. Para la producción del vapor cuenta con cinco calderas que producen vapor con una presión de 40 atmósferas y temperatura de 420 °C. Este vapor producido se alimenta a los turbogeneradores, los cuales producen dos tercios de la energía

eléctrica total consumida en el proceso fabril. ([Manual 2008](#))

La sección de tratamiento químico del agua (TQA) es la encargada de producir el agua desmineralizada que se alimenta a las calderas, además del agua suavizada que se alimenta a las torres de absorción de amoníaco de las plantas de lixiviación y lavado y recuperación de amoníaco.

El agua que consume la sección de TQA es de calidad potable y es alimentada directamente a los filtros catiónicos tanto de suavizamiento como de desmineralización.

Recibido: 09/06/2018

Aprobado en su forma original: 22/09/2019

¹Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), Cuba

²Empresa Productora de Níquel Ernesto Che Guevara (ECG), Cuba

*Autor para correspondencia: *Aimet Rómulo-Rodríguez*. E-mail: aimet@cil.moa.minem.cu

La sección de suavizamiento está compuesta por 4 filtros cargados con resinas catiónicas de ácido fuerte Amberlite IR120, las cuales se regeneran con una solución de cloruro de sodio a concentración de 10 %. El índice de consumo de cloruro de sodio por proyecto es de 0,36 kg/m³ de agua suavizada.

La línea de desmineralización está compuesta por cuatro etapas:

- La etapa 1 está compuesta por 5 filtros cargados con resinas catiónicas de ácido fuerte Amberlite IR120, las cuales se regeneran con una solución de ácido sulfúrico inicialmente al 2 % y luego al 6 %. El índice de consumo de ácido por proyecto es de 0,430 kg/m³ de agua descationizada.
- La etapa 2 está compuesta por tres torres descarbonadoras empacadas con anillos Rashing. El índice de consumo de aire por proyecto es de 20 m³/m³ de agua descarbonada.
- La etapa 3 está compuesta por 5 filtros cargados con resinas aniónicas básicas fuerte Amberlite IRA402, las cuales se regeneran con una solución de hidróxido de sodio al 4 %. El índice de consumo de sosa cáustica por proyecto es de 0,165 kg/m³ de agua desmineralizada.
- La cuarta etapa está compuesta por 3 filtros de lechos mezclados, cargados con resinas catiónicas y aniónicas.

La productividad de la sección de suavizamiento es de 500 m³/h y la línea de desmineralización tiene una capacidad de 320 m³/h, por lo que el consumo de ácido sulfúrico al 98 %, sosa cáustica al 99 % y cloruro de sodio para la regeneración de las resinas utilizadas en dichas operaciones, es de 680, 350 y 1 000 t/año respectivamente. Esto implica un gasto anual en reactivos de aproximadamente medio millón de pesos en CUC y cien mil pesos en CUP. Además, cada tres años se gastan aproximadamente 120 000 pesos en CUC para reposición de las resinas deterioradas de los filtros.

Teniendo en cuenta el alto consumo de los reactivos regenerantes y los altos gastos en que incurre la empresa por este concepto, se hace necesario la búsqueda de alternativas que

disminuyan los mismos. Un proceso de ablandamiento, con un posterior tratamiento por coagulación - floculación podría ser una alternativa para disminuir los cationes y aniones presentes en el agua de entrada, lo que tendría un impacto positivo en el ciclo de utilización de las resinas y en el medio ambiente, ya que disminuiría la cantidad de solución de regenerantes que es vertida a la canalización de la empresa.

Ablandamiento de agua

El proceso de ablandamiento del agua tiene como objetivo la disminución de la dureza total y la alcalinidad total mediante la adición de sustancias alcalinas. En este proceso además se obtienen otros beneficios colaterales como la precipitación del hierro y la sílice. La cal hidratada es el producto más difundido en el proceso de ablandamiento del agua por su bajo costo e índice de consumo. ([GLEGG 2002](#))

Coagulantes

Los coagulantes se usan generalmente en el tratamiento de aguas naturales e industriales para aglomerar los sólidos en suspensión. La coagulación consiste en la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides que componen una solución ([GLEGG 2002](#), [AWT 2001](#), [Strauss 1987](#)). La selección primaria de cada uno de los coagulantes depende del pH del agua. ([GLEGG 2002](#), [AWT 2001](#), [Strauss 1987](#))

Floculantes

Los floculantes son polímeros que favorecen el proceso de formación de flóculos, actuando de puentes para captar las partículas en suspensión. Existen tres tipos de floculantes, los aniónicos, los catiónicos y no iónicos. Su selección primaria además de depender del origen de las partículas también obedece al pH de la solución donde se aplique ([GLEGG 2002](#), [AWT 2001](#), [Strauss 1987](#)).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Agua potable: producida por la planta potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara.

Cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Fabricado por ALZO (España), sólido en polvo de color blanco y 90 % de pureza.

Coagulantes de [SNF 2014](#): Poly+Cat HBS, Poly+Cat N9010, 50/50 ACH/PRP 2949, 50/50 ACH/PRP 2650, 50/50 ACH/PRP 4440, 50/50 ACH/PRP 4540, 80/20 ACH/PRP 2650, 80/20 ACH/PRP 2949, 80/20 ACH/PRP 4440, 80/20 ACH/PRP 4540, ACH/poly+cat (sólido), AC 851, Clarifloc BDC AC, Clarifloc DC.

Coagulante de [VAPENSA 2004](#): Vapen Floc.

Coagulantes de [CHEMATEK 2014](#): [Hidroxicloruro de aluminio](#), [policloruro de aluminio](#).

Foculantes [SNF 2014](#): AN 905, AN 905 SH, AN 905 VHM, AN 910, AN 910 HS, AN 910 VHM, AN 913, AN 923, AN 934, AN 945, AN 945 SH, AN 945 VHM, AN 956.

Equipos

Agitadores (IKA RW20 DZM)

Turbidímetro (HANNA HI 98703)

Medidor de pH (HANNA HI 9126)

Espectrómetro (HACH DR 900)

Balanza analítica (KERN ABS 120-4)

Bomba de vacío (Vacuubrand MZ 2C NT)

Procedimientos y condiciones experimentales

Ablandamiento de agua

El objetivo del experimento es conocer el comportamiento del pH, hierro, sílice, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, dureza permanente, dureza magnésica, sólidos totales disueltos, sólidos en suspensión, turbidez y color del agua a diferentes dosis de cal hidratada, procediendo de la manera siguiente:

1. Tomar aproximadamente 50 litros de agua potable.
2. Tomar 1 000 mL de muestra y determinar pH, hierro, sílice, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, dureza permanente, dureza magnésica, sólidos totales disueltos, sólidos en suspensión, turbidez y color.
3. Medir 4 000 mL de agua y añadirla en un beaker.
4. Fijar una agitación de 100 rpm en el agitador para mantener una turbulencia uniforme.

5. Añadir masa de cal hidratada según la dosis a evaluar.

6. Agitar la mezcla durante 1 minuto con un régimen de 100 rpm.

7. Pasado el tiempo de agitación, apagar el agitador y sacar el impelente del agua.

8. Dejar 5 minutos en reposo.

9. Pasados los 5 minutos tomar una muestra de 1 000 mL y realizarle medición de pH, hierro, sílice, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, dureza permanente, dureza magnésica, sólidos totales disueltos, sólidos en suspensión, turbidez y color.

10. Anotar el resultado de pH.

11. Repetir los pasos del 3 al 10 según la cantidad de dosis a evaluar.

Evaluación de coagulantes y foculantes ([Manual 1985](#))

1. Tomar aproximadamente 50 litros de agua potable.

2. Tomar 50 mL de la muestra anterior y medirle el pH.

3. Tomar 4 L de agua y añadirla en un beaker.

4. Poner una agitación de 60 r/min para homogeneizar la muestra durante 1,0 min.

5. Añadir la masa de cal hidratada.

6. Agitar la mezcla durante 1,0 minuto con un régimen de 100 r/min.

7. Añadir el coagulante.

8. Agitar la mezcla durante 1 minuto con un régimen de 100 r/min.

9. Bajar el régimen de agitación hasta 60 r/min y mantenerlo durante 5 minutos.

10. Añadir una solución de foculante con una concentración de 1,0 g/L.

11. Parar la agitación, sacar los impelentes del beakers y dejar en reposo durante 10 minutos.

12. Tomar una muestra de 100 mL y realizarles medición de pH, turbidez y color.

13. Anotar los resultados.

Condiciones generales utilizadas en los experimentos

Calidad del agua: potable.

Tabla 1. Características del agua potable

Parámetros	UM	NC 827:2012	Promedio	Máximo	Mínimo
Alcalinidad total	mg/L (como CaCO ₃)	-	70,58	77	65
Dureza cálcica	mg/L (como CaCO ₃)	-	19,17	24	14
Dureza magnésica	mg/L (como CaCO ₃)	-	62,92	68	60
Dureza total	mg/L (como CaCO ₃)	400	82,08	86	78
pH	-	6,50 - 8,50	7,73	7,88	7,60
Materia orgánica	mg/L (O ₂ consumido)	4,00	1,08	1,20	0,92
Sólidos totales disueltos	mg/L	1 000	176	253	126
Conductividad	µs/cm	-	175	185	167
Turbidez	NTU*	5,0	1,59	2,11	1
Color	U** (Pt/Co)	15	3,17	6	1,56
Coliformes	NMP***/100 mL	2	-2,20	-2,20	-2,2
Cloro libre (Empresa)	mg/L	2,00	0,46	0,59	0,35
Calcio	mg/L (como CaCO ₃)	200	19,17	24	14
Magnesio	mg/L (como CaCO ₃)	150	62,92	68	60

*NTU: Nephelometric Turbidity Unit (unidades de turbidez por nefelometría).

**U(Pt/Co): Unidades de color en la escala platino/cobalto.

***NMP: Número más probable.

Temperatura del agua: 24 a 27 °C.

Análisis de hierro y silicio: Absorción atómica.

Análisis del color: Método colorimétrico.

Análisis de turbidez: Método de nefelometría.

Análisis de pH: Método de electrometría.

Análisis de alcalinidad total y parcial (como CaCO₃): Método volumétrico.

Análisis de dureza total y calcio (como CaCO₃): Método volumétrico.

Análisis de sólidos totales disueltos: Método gravimétrico.

Determinación del magnesio (como CaCO₃): Restando la dureza total menos la dureza cálcica.

Determinación de la dureza permanente: Restando la alcalinidad total menos la dureza total.

orgánica, sólidos totales disueltos, turbidez, color, coliformes totales y cloro libre.

En cuanto a su dureza total se puede clasificar como ligeramente dura según la clasificación de [Cox 1979](#).

El pH y alcalinidad son medios, acompañado de un bajo contenido de sólidos totales disueltos le dan a esta agua características ligeramente corrosivas. ([AWT 2001](#), [Cox 1979](#), [Strauss 1987](#))

La carga biológica de esta agua es baja, dada a la baja concentración de materia orgánica y coliformes total; esto se debe principalmente a la presencia de cloro libre o residual en concentraciones superiores a 0,2 mg/L.

Selección del índice de consumo adecuado de cal hidratada

La [figura 1](#) muestra el comportamiento del pH en función de la dosis de cal hidratada, donde se alcanza un pH de 10,48 cuando la dosis de cal hidratada es igual a 120 mg/L.

La dureza magnésica y permanente a un pH de 10,48 experimenta una disminución de 34,34 y 30,74 respectivamente.

La [figura 2](#) muestra las gráficas de correlación de la alcalinidad total, dureza total y sólidos totales disueltos en función del pH. El comportamiento de estos parámetros es similar;

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del agua potable

En la [tabla 1](#) se muestran la concentración máxima, mínima y promedio presentes en el agua potable que recibe la sección de TQA de la empresa Ernesto Che Guevara.

El agua potable analizada se caracteriza por cumplir los valores establecidos según la [NC 827:2012](#) en cuanto a dureza total, pH, materia

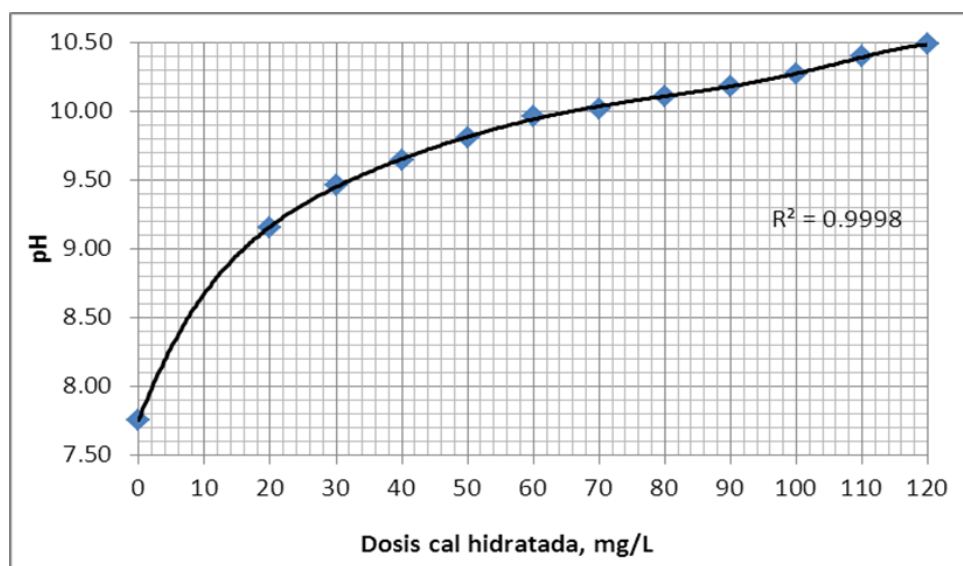


Figura 1. Comportamiento del pH en función de la dosis de cal hidratada

crecen por encima de su concentración inicial hasta un pH de 9,64 y luego decrecen hasta un pH 10,48; en este último se logra una disminución de 17,62, 20,42 y 14,29 % respectivamente.

En las tres variables analizadas a pH de 10,27 se observa un pico anómalo, que es más pronunciado en la gráfica correspondiente a los sólidos totales disueltos, en esta también a pH de 10,02 se observa un pico anómalo aún más pronunciado que el segundo.

Selección del coagulante adecuado

En la [tabla 2](#) se muestran los resultados promedios de las pruebas de selección donde se analiza la turbidez y color al agua una vez ablandada y tratada por la coagulación de forma escalonada a las concentraciones de 5, 10, 15 y 20 mg/L.

Los resultados sombreados de turbidez y color corresponden a los valores promedio mínimos para cada tipo de coagulante; los sombreados y subrayados corresponden a los valores de turbidez y color menor que 5 NTU y 20 U respectivamente.

Teniendo en cuenta estos resultados, la dosis donde se obtienen los valores más bajos de turbidez y color es la de 15 mg/L; donde los coagulantes que lograron menos de 5 NTU de turbidez y 20 U de color fueron:

- Poly+Cat N9010
- 80/20 2949
- 80/20 4540

- AC 851
- Vapen Floc
- Chemadd ACH

Después de seleccionados los 6 mejores coagulantes se realizaron 9 corridas repetitivas, con muestras de agua de diferentes días de operación, para la selección del mejor coagulante sobre la base del menor resultado de turbidez y color a la dosis de 15 mg/L.

La [tabla 3](#) recoge los resultados promedios de la turbidez y el color de las nueve corridas repetitivas y las cuatro corridas de selección, ambos a una dosis de coagulante de 15 mg/L.

Los resultados demostraron que todos los coagulantes obtuvieron valores promedios similares de turbidez entre 9 y 13 NTU, de igual manera con el color entre 35 y 47 U. Lo que demuestra que todos pueden emplearse como coagulantes para la clarificación del agua estudiada, pero el coagulante con mejor resultado en cuanto al color fue el 80/20-4540 con 35 U de color y con un resultado de turbidez de 10 NTU.

En la [tabla 4](#) se muestra la caracterización química de las muestras compósitos de las 9 corridas repetitivas del agua ablandada y coagulada con los seis mejores coagulantes seleccionados; además del agua inicial utilizada para el ablandamiento.

En sentido general el comportamiento de todos los coagulantes en la composición química del agua ablandada es muy similar, con excepción

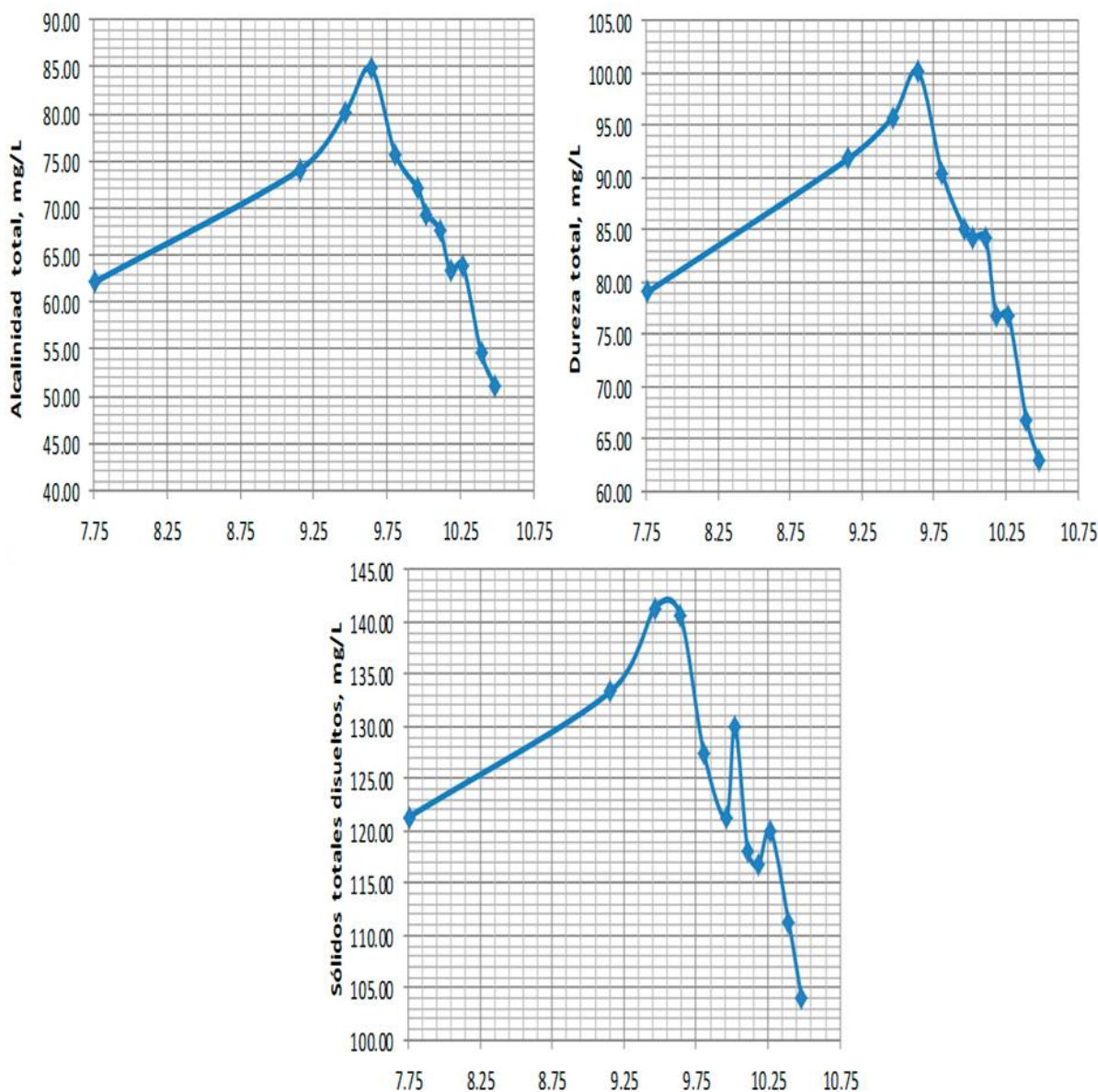


Figura 2. Comportamiento de la alcalinidad total, dureza total y sólidos totales disueltos en función del pH

del coagulante Poly+Cat N9010, el cual no logró reducir la dureza total.

Selección del floculante adecuado

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, las corridas finales de selección se realizaron con los floculantes AN 905, AN 910 y AN 945 con pesos moleculares estándar, altos (SH) y ultra altos (VHM), a dosis de 0,5 mg/L, realizando 5 réplicas de cada experimento. En la [tabla 5](#) se muestran los resultados de dichas corridas, se observa que con el floculante AN 905 SH se alcanzan valores más bajos de turbidez y color, siendo 1,0 NTU y 15 U, respectivamente; con valores de la variación estándar, tanto para la turbidez como para el color, de 1,0.

En la [tabla 6](#) se muestra la caracterización química de las muestras compósitas de las 5 corridas repetitivas del agua ablandada, coagulada, floculada y filtrada; además de la muestra inicial utilizada.

Según los resultados obtenidos con el proceso de ablandamiento seguido de la coagulación, floculación, decantación y filtración se logra precipitar todo el hierro contenido en el agua inicial, no siendo así para el caso de la alcalinidad de carbonatos que aumenta a 55,04 mg/L y 13,76 mg/L la de los hidróxidos; en el caso de la dureza total y magnésica se logra una reducción muy ligera, hasta 88,88 y 70,70 mg/L, respectivamente.

Tabla 2. Resultados de la turbidez y el color en función de la dosis y tipo de coagulante

Coagulante	5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L	5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L
	Turbidez, NTU				Color, U(Co/Pt)			
Poly+Cat HB S	21	12	7	18	47	77	40	76
Poly+Cat N9010	29	11	2	28	73	73	20	109
50/50 2949	20	10	3	14	50	85	34	57
50/50 2650	27	13	8	15	110	78	40	72
80/20 2650	12	9	4	9	40	59	23	38
80/20 2949	20	8	5	9	79	61	19	32
50/50 4440	25	17	5	10	109	89	26	50
50/50 4540	33	12	3	14	70	53	39	51
80/20 4440	16	9	8	8	75	72	33	33
80/20 4540	19	8	3	11	118	59	15	26
ACH/Poly+Cat (S)	12	8	3	8	39	51	31	43
AC 851	16	9	2	10	58	56	14	52
Clarifloc BDC AC	29	5	5	27	105	52	37	74
Clarifloc DC	33	10	7	36	126	56	45	81
Vapen Floc	26	7	1	15	110	48	18	81
Chemadd ACH	21	7	2	17	59	37	10	49
Chemadd PAC	19	9	6	18	67	45	28	64
Sulfato Aluminio	30	12	6	21	111	86	22	87

Tabla 3. Resultados de la turbidez y el color de las pruebas finales

Resumen	Jarra 2	Jarra 6	Jarra 10	Jarra 12	Jarra 15	Jarra 16
Coagulante	Poly+Cat N9010	80/20 2949	80/20 4540	AC 851	Vapen Floc	Chemadd ACH
Replicas	13	13	13	13	13	13
pH Inicial Agua	7,78	7,75	7,70	7,70	7,78	7,78
pH Final	10,24	10,29	10,26	10,28	10,15	10,25
Turbidez - Promedio, NTU	9	13	10	12	13	13
Color - Promedio, U(Co/Pt)	41	45	35	47	43	46

Tabla 4. Caracterización química del agua ablandada y coagulada

Muestra	Fe	SiO ₂	Al _T ¹	Al _P ²	D _T ³	D _{Ca} ⁴	STD ⁵	D _{Mg} ⁶	Al _{OH} ⁷	D _P ⁸
	Concentración, mg/L									
Agua potable	0,042	15,29	75,68	0	93,93	25,25	148	68,68	0	18,25
Poly+Cat N9010	0,012	13,97	61,92	41,28	106,05	18,18	128	87,87	20,64	44,13
80/20 2949	0,011	12,81	55,90	48,16	80,80	14,14	138	66,66	40,42	24,90
80/20 4540	0,014	14,20	60,20	51,60	78,78	14,14	128	64,64	43,00	18,58
AC 851	0	11,44	56,76	48,16	84,84	18,18	120	66,66	39,56	28,08
Vapen Floc	0	11,79	61,92	41,28	84,84	24,24	132	60,60	20,64	22,92
Chemadd ACH	0,021	12,45	59,34	41,28	84,84	19,19	122	65,65	23,22	25,50

¹Alcalinidad total, ²Alcalinidad parcial, ³Dureza total, ⁴Dureza cálcica, ⁵Sólidos totales disueltos, ⁶Dureza magnésica, ⁷Alcalinidad de los hidróxidos, ⁸Dureza permanente

Tabla 5. Resultados de las corridas finales

Floculante	AN 905	AN 905 SH	AN 905 VHM	AN 910	AN 910 SH	AN 910 VHM	AN 945	AN 945 SH	AN 945 VHM
pH Inicial Agua	7,52	7,52	7,52	7,52	7,53	7,53	7,52	7,52	7,50
pH Final	9,83	9,84	9,85	9,84	9,88	9,82	9,77	9,84	9,77
Turbidez - Final, NTU	1	1	1	1	2	2	2	1	1
Color - Final, U(Co/Pt)	16	15	19	17	17	19	15	16	19

Tabla 6. Caracterización química del agua ablandada, coagulada, floculada y filtrada

Corridas	UM	Valores	
		Inicial	Ablandada
Fe	mg/L	0,11	0
SiO ₂	mg/L	17,92	17,60
Alcalinidad total	mg/L	79,98	68,80
Alcalinidad parcial	mg/L	0	41,28
Alcalinidad OH	mg/L	0	13,76
Alcalinidad CO ₃	mg/L	0	55,04
Dureza total	mg/L	96,96	88,88
Dureza cálcica	mg/L	14,14	18,18
Dureza magnésica	mg/L	82,82	70,70
Dureza permanente	mg/L	16,98	20,08
Sólidos totales disueltos	mg/L	146	136

Evaluación de las resinas

En la [figura 3](#) se muestra el comportamiento de las resinas aniónicas y catiónicas cuando se utiliza el agua potable y el agua ablandada, en los procesos de desmineralización y suavizamiento.

En todos los casos es apreciable que cuando lo que se procesa es agua potable el agotamiento de las resinas es más rápido que cuando se procesa agua ablandada; en los tres casos el volumen de agua procesada antes de que se agote la resina es el doble en el caso del agua tratada con respecto al agua potable. Razón por la cual se estima que se pueda ahorrar más del 50 % de los regenerantes que son utilizados para la regeneración de las mismas (ácido sulfúrico al 6 %, hidróxido de sodio al 4 % y cloruro de sodio al 10 %).

En la [tabla 7](#) se exponen los resultados teóricos de la reducción de los compuestos tomados del [Strauss 1987](#), durante el ablandamiento de las

aguas naturales y la comparación entre estos y los prácticos obtenidos en las pruebas realizadas.

Se puede resumir que al ablandar el agua potable con cal hidratada en frío utilizando el coagulante 80/20-4540, floculante AN 905 SH y seguido de una filtración, se logra una reducción del contenido de alcalinidad con respecto al contenido de agua inicial de 13,98 %, valor inferior al rango teórico de 30 a 50 %.

La reducción del contenido de sólidos totales disueltos con respecto al contenido inicial en el agua es de hasta 6,85 %, valor inferior al rango teórico de 10 a 20 %.

La dureza total disminuye de 96,96 mg/L hasta 88,88 mg/L, valor por encima del máximo teórico, 50 mg/L; de igual manera ocurre con el valor del contenido de sílice, que aunque logra una reducción de 17,92 mg/L hasta 17,60 mg/L no alcanza el valor máximo teórico ([Strauss 1987](#))

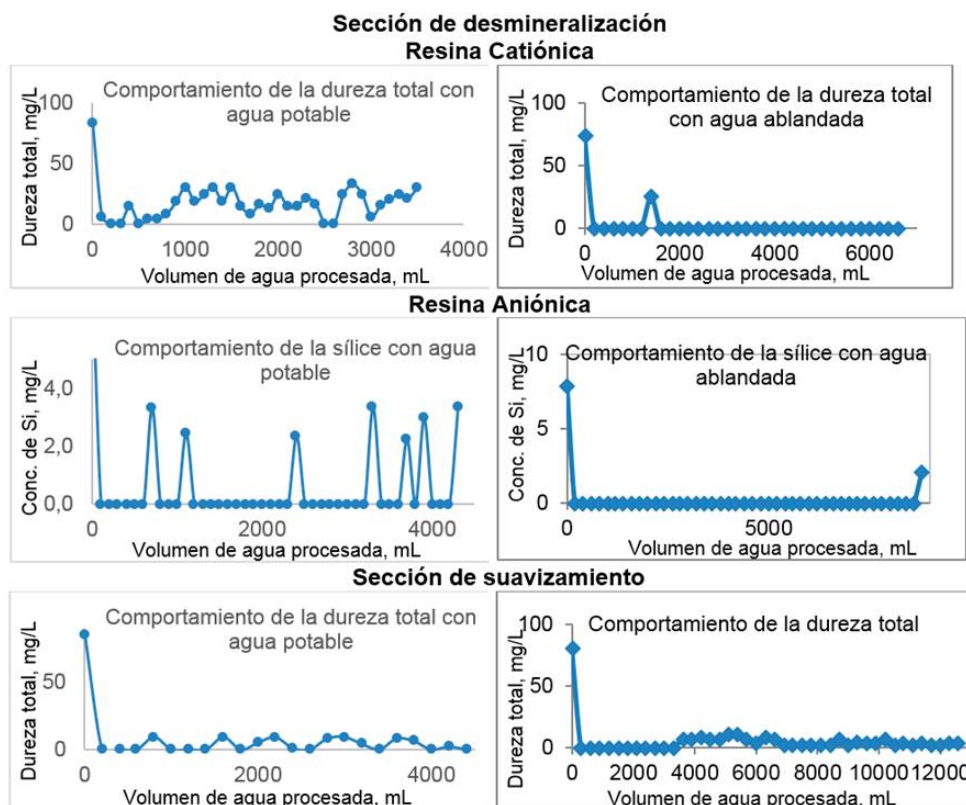


Figura 3. Comportamiento de las resinas de intercambio iónico

Tabla 7. Comparación de los resultados teóricos y prácticos de las pruebas de ablandamiento

Proceso	Proceso de reducción			
	Alcalinidad total %	Dureza total mg/L	Sílice mg/L	Sólidos disueltos totales %
Teórico	30 a 50	Hasta 50	Hasta 3	10 a 20
Cal hidratada	16,06	84,84	12,90	19,52
Cal hidratada +Filtración	17,62	62,87	12,51	14,29
Cal hidratada +Coagulante 80/20-4540	20,45	78,78	14,20	13,51
Cal hidratada +Coagulante 80/20-4540 +Floculante AN 905 SH +Filtración	13,98	88,88	17,60	6,85

CONCLUSIONES

Después de hacerse el análisis de la propuesta de ablandamiento al agua de entrada al proceso de desmineralización de la planta termoenergética, se concluye que es posible obtener valores de turbidez y color de 1,0 NTU y 15 U respectivamente; aunque no se logró alcanzar los valores teóricos de reducción,

planteados en la literatura, de dureza total, sílice; alcalinidad total y sólidos disueltos totales. A pesar de ello se demostró que, cuando es ablandada el agua, es posible procesar por intercambio iónico más del doble del agua que cuando se procesa agua potable, lo que se revierte en un ahorro de regenerantes en más del 50 %.

BIBLIOGRAFÍA

- Agua potable-Requisitos sanitarios. NC 827: 2012.
- Association of Water Technologies. 2001. Inc. "Water Treatment AWT".
- Boletín técnico - VAPEN FLOC. 2004. Vapor y enfriamiento SA. Versión 2. Costa Rica.
- Catálogo de productos en polvo de SNF Floeger. 2014. Francia. 62 p
- Catálogo de productos líquidos de SNF Floeger. 2014. Francia.
- Cox R, Charles. 1979. Prácticas y vigilancias de las operaciones del tratamiento del agua. (Ed) Científico - Técnica. La Habana.
- Manual de operaciones. Planta Desmineralizadora. 1985. Empresa Ernesto Che Guevara.
- Manual de operaciones. Planta Termoenergética. 2008. Empresa Ernesto Che Guevara.
- Strauss, D. 1987. Boiler water treatment for low and moderate, pressure plant. New York.
- Tecnical data sheet - Hidroxicloruro de aluminio (ACH). 2014. Chematek SPA.
- Tecnical data sheet - Policloruro de aluminio (PAC). 2014. Chematek SPA.
- Water Treatment handbook of GLEGG. 2002.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.
Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)