

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ABLANDAMIENTO
PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE LAS CISTERNAS DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS - ESPOCH”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO QUIMICO

Presentado por:

JAVIER RAFAEL MARTÍNEZ BAYAS

MARCELO GONZALO IDROBO JAYA

RIOBAMBA - ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento para el Ingeniero Cesar Avalos como Director de Tesis por brindarnos todo el apoyo y confianza para realizar el presente trabajo, al Ingeniero Gonzalo Sánchez como colaborador de este proyecto por brindarnos la ayuda necesaria, compartir sus conocimientos para culminar de la mejor manera el presente, y al mismo tiempo agradecer a todos los directivos y docentes de la Facultad de Ciencias quienes colaboraron de forma directa en nuestra preparación, guiaron y acompañaron en todo momento.

DEDICATORIA

Este trabajo lo quiero dedicar primeramente a Dios por haberme dado la fuerza de culminar mi carrera pese a todos los obstáculos que hubo en el trayecto, a mis padres Norma y Leonardo por haberme dado su apoyo para seguir adelante y a Verónica por haber estado siempre pendiente para la culminación de este proyecto.

JAVIER MARTÍNEZ

Por la culminación de un peldaño más en mi vida quisiera dedicar este trabajo a Dios, a mis padres que hicieron posible que siga adelante pese a todas las adversidades de la vida y que estas sean vencidas. También dedico el presente trabajo a mi esposa por estar siempre conmigo en los momentos fáciles y difíciles

MARCELO IDROBO

Nosotros Javier Rafael Martínez Bayas y Marcelo Gonzalo Idrobo Jaya, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

INDICE DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

ppm	Partículas por millón
VI	Volumen de lavado
NTUs	Unidades Nefelometricas turbidez
t	Tiempo de lavado
t_r	Tiempo de agotamiento
ε	Porosidad
H	Perdida de carga producida por el lecho
S	Peso especifico
D	Densidad real
P	Densidad kg/m^3
Ce	Concentración final
Co	Concentración inicial
cm	Centímetros
Q	Caudal
CICT	Capacidad de Intercambio Cationico Total
A	Área superficial
A_f	Área filtrante
Ohm	Ohmios
mm	Milímetros
μS	Microsiemes
mg/L	Miligramo sobre litro
HI	Longitud del desmineralizador
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
g	Gramos
HTI	Grado Hidrotimétrico Ingles

HTF	Grado Hidrotimétrico Francés
HTA	Grado Hidrotimétrico Alemán
°C	Grados Celsius
gpm	Galones por minuto
Dap	Densidad aparente

RESUMEN

El Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la Facultad de Ciencias-ESPOCH, está planteado para agua de alta dureza, ya que en la actualidad el agua dura y por consecuencia los equipos construidos de acero no soportan las incrustaciones que se forman causando inconvenientes a los profesores y por ende a los estudiantes

Para el diseño y construcción del mismo, se aplico el tipo de **Metodología Analítica** tanto del agua a utilizar, como de la resina que es materia prima para el filtro, Además análisis de intercambio catiónico y de absorción en columna experimental de vidrio para luego hacer un escalado para el caudal que se utiliza en el laboratorio de la Facultad de Ciencias obteniendo las medidas para el ablandador.

Como resultados de los estudios realizados con el ablandador hemos obtenido un agua blanda, es decir la dureza del agua menor a 300 mg/ L y al pasar por el lecho filtrante obtenemos un agua de 125 mg/L, siendo un agua que va a provocar mínimas incrustaciones y va a aumentar la vida útil de los equipos.

Podemos concluir diciendo que el ablandador no solo evitará a que los diferentes equipos existentes en los laboratorios (construidos en acero) se dañen sino que además abastecerá de agua destilada a la Facultad evitando así molestias en la realización de las prácticas.

Se recomienda que las autoridades de la Facultad de Ciencias que se dé el mantenimiento preventivo a este equipo e inclusive ellos pueden disponer de este proyecto para aplicar en otras cisternas ya sea dentro o fuera de los predios de la Institución ya que es un equipo de bajo costo pero grande en beneficios.

SUMMARY

Design and construction of a softening system to treat water from the cisterns of the Faculty of Sciences-ESPOCH is raised to high water hardness, and currently hard water and consequently the equipment constructed of steel not support scale which are causing inconvenience to the teachers and therefore students.

For the design and construction of the same type was applied both water Analytical Methods to be used, and the resin is the raw material for the filter, also cation exchange analysis and experimental absorption glass column and then make a scaling for the flow rate used in the laboratory of the Faculty of getting the steps to the softener.

As results of the studies we have obtained with the softener soft water, ie water hardness less than 300 mg / L and passing through the filter bed get a water of 125 mg / L, with water that will cause minimum scale and will increase the life of distillers. We can conclude that the softener is not only to prevent existing equipment in different laboratories (steel construction) but also damage to supply water to the Faculty distilled avoiding discomfort in performing practices.

It is recommended that the authorities of the Faculty of Science is given preventive maintenance to this equipment, and even they can have this project to apply in other tanks either on or off the premises of the institution as it is a low-cost but big on benefits.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	6
INDICE DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	14
INTRODUCCION.....	16
ANTECEDENTES.....	18
JUSTIFICACION.....	19
OBJETIVOS.....	21
GENERAL.....	21
ESPECIFICOS.....	21
CAPITULO I	
MARCO TEÓRICO.....	22
1.1. TRATAMIENTO DE AGUA.....	22
1.1.1.- DEFINICIÓN.....	22
1.1.2. IMPUREZAS DEL AGUA.....	23
1.1.3. FACTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	24
1.1.3.1. pH.....	25
1.1.3.2. COLOR.....	25
1.1.3.3. TURBIDEZ.....	25
1.1.3.4. ALCALINIDAD.....	25
1.1.3.5. DUREZA TOTAL.....	26
1.1.3.6. SÍLICE.....	27
1.1.3.7. HIERRO.....	28
1.1.3.8. CLORO RESIDUAL.....	28
1.1.3.9. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.....	28
1.1.3.10. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....	29
1.1.3.11. ÍNDICE DE ESTABILIDAD.....	29
1.2. FILTRACIÓN.....	30
1.2.1. FILTROS POR GRAVEDAD.....	31

1.2.2. FILTROS DE PRESIÓN.....	32
1.3 DESMINERALIZACIÓN.....	33
1.4 ABLANDAMIENTO QUÍMICO.....	33
1.5. ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IÓNICO.....	34
1.6. INTERCAMBIO IÓNICO.....	36
1.7. TIPOS DE MATERIALES INTERCAMBIO IÓNICO.....	38
1.7.1. CAMBIADORES CATIONICOS DE SODIO.....	38
1.7.2. CAMBIADORES DE HIDRÓGENO.....	41
1.7.3. CAMBIADORES ANIÓNICOS.....	42
1.7.4. PROPIEDADES DE LOS CAMBIADORES.....	43
1.7.6. PODER DE CAMBIO ÚTIL.....	43
1.7.7. PODER DE CAMBIO DISPONIBLE.....	44
1.7.8. PODER DE CAMBIO TOTAL.....	44
1.7.9. FUGA IÓNICA.....	44
1.8. RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	44

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL.....	48
2.1 DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS DEL AGUA.....	48
2.1.1 MUESTREO.....	49
2.1.1.1 INTERVALOS DE TIEMPO ENTRE LA RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA Y SU ANÁLISIS.....	49
2.1.1.2 MUESTRAS REPRESENTATIVA.....	50
2.1.1.3 FRECUENCIA DEL MUESTREO.....	51
2.1.2 ANÁLISIS FÍSICOS.....	51
2.1.2.1 pH.....	51
2.1.2.2 TEMPERATURA.....	52
2.1.2.3 CONDUCTIVIDAD.....	52

2.1.2.4 TURBIDEZ.....	55
2.1.3 ANÁLISIS QUÍMICOS.....	57
2.1.3.1 DUREZA.....	57
2.1.3.1.1 TECNICA PARA DUREZAS BAJAS.....	60
2.1.3.2 CALCIO.....	61
2.1.3.2.1 PRINCIPIO.....	62
2.1.3.3. MAGNESIO TECNICA.....	63
2.2 DETERMINACIÓN DEI ANÁLISIS DEL MATERIAL ABLANDANTE.....	64
2.2.1 ANÁLISIS FÍSICOS.....	64
2.2.1.1 Ph.....	64
2.2.1.2 PESO ESPECÍFICO.....	65
2.2.1.3 DENSIDAD REAL.....	66
2.2.1.4 DENSIDAD APARENTE	67
2.2.1.5 POROSIDAD.....	68
2.2.1.6 GRANULOMETRÍA.....	70
2.2.1.7 RESISTENCIA AL ÁCIDO Y A LA BASE.....	72
2.3 ENSAYOS DE INTERCAMBIO EN COLUMNA.....	73
2.3.1 PARA CONCENTRACIONES DE CARBONATO DE CALCIO Y MAGNESIO.....	73
2.3.2 PARA EL AGUA A SER TRATADA.....	73
2.4 REGENERACIÓN DEL MATERIAL ABLANDADOR.....	74
CAPITULO III	
CÁLCULOS.....	75
3.1 DATOS EXPERIMENTALES DEL AGUA.....	75
3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA DUREZA.....	75
3.1.1.1 Para el agua antes del tratamiento.....	75
3.1.1.2 Para el agua después del tratamiento.....	75

TABLA N° 1 DETERMINACION DE LA DUREZA	76
3.1.1 DETERMINACIÓN DEL CALCIO.....	76
3.1.2.1 Para el agua antes del tratamiento.....	76
3.1.2.2 Para el agua después del tratamiento.....	77
TABLA N° 2 DETERMINACION DEL CALCIO.....	77
3.1.3 DETERMINACIÓN DEL MAGNESIO.....	77
3.1.3.1 Para el agua antes del tratamiento.....	77
3.1.3.2 Para el agua después del tratamiento.....	78
TABLA N° 3 DETERMINACION DEL MAGNESIO.....	78
3.2 DETERMINACIÓN DEL ABLANDADOR.....	78
3.2.1 PESO ESPECÍFICO.....	78
3.2.2 DENSIDAD REAL.....	79
3.2.3 DENSIDAD APARENTE.....	80
3.2.4 POROSIDAD.....	81
3.2.5 GRANULOMETRÍA.....	82
3.2.5.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA RESINA PARA 300g.....	83
3.2.6 RESISTENCIA AL ÁCIDO Y CÁLCULOS A LA BASE.....	83
3.2.6.1 SOLUBILIDAD DEL ÁCIDO.....	84
3.2.6.2 SOLUBILIDAD DE LA BASE.....	84
3.2.7 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE AGOTAMIENTO.....	84
3.3 CÁLCULOS PARA LAS COLUMNAS EN EL LABORATORIO.....	85
3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS COLUMNAS DE FILTRACIÓN.....	85
3.3.1.1 Cálculo del caudal.....	85
3.3.1.2 Cálculo de la tasa media de filtración.....	85
3.3.1.4 Número de filtros.....	86
3.3.1.5 Cálculo del área por filtro.....	86
3.3.1.6 Cálculo de la longitud del filtro.....	86
3.3.1.7 Cálculo de la pérdida de carga producida por el lecho.....	87

3.3.2 DISEÑO DEL ABLANDADOR.....	87
3.3.2.1 Cálculo del caudal.....	87
3.3.2.2 Cálculo de la taza media de filtración.....	87
3.3.2.3 Cálculo del área total de filtración.....	87
3.3.2.4 Número de filtros.....	88
3.3.2.5 Cálculo del área por filtro.....	88
3.3.2.6 Cálculo de la longitud del filtro.....	88
3.3.2.6 Cálculo de la pérdida de carga producida por el lecho en el ablandador.....	88
3.3.2.7 Cálculo de la longitud del ablandador en base a las Concentraciones iniciales y finales de la dureza del agua.....	88
3.3.2.8 Cálculo del tiempo y el volumen de la solución de lavado para el ablandador...	89
3.3.2.8.1 Calculo de la velocidad por el área.....	89
3.3.2.9.2 Calculo de q.....	89
3.3.2.9.3 Cálculo del tiempo de lavado.....	90
3.3.2.9.4 Cálculo del Volumen de Lavado.....	90
CAPITULO IV	
RESULTADOS.....	91
4.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA.....	91
4.1.1 ANÁLISIS DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO.....	91
TABLA N° 5.....	91
4.1.2 ANÁLISIS DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.....	91
TABLA N° 6.....	91
4.2 ANÁLISIS DE LA RESINA.....	92
TABLA N° 7.....	92
4.2.1 ANÁLISIS QUÍMICOS.....	92
TABLA N° 8.....	92
4.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA RESINA PARA 300g	93
TABLA N° 9.....	93
GRAFICO N° 1 GRANULOMETRIA DE LA RESINA.....	93

4.3 ENSAYOS DE INTERCAMBIO EN COLUMNA.....	94
4.3.1 PARA EL CARBONATO DE CALCIO.....	94
4.3.1.1 Para 0.5 g de CaCO_3	94
TABLA N° 10.....	94
4.3.1.1.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL.....	95
TABLA N° 11. ABSORBANCIA DE LA DUREZA TOTAL 0.5g DE CARBONATO	95
GRAFICO N° 2 ABSORBANCIA DE LA DUREZA TOTAL 0.5g DE CARBONATO.....	95
4.3.1.1.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO.....	96
TABLA N° 12 ABSORBANCIA EN CALCIO	96
GRÁFICO N° 3 ABSORBANCIA EN CALCIO.....	96
4.3.1.1.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO.....	97
TABLA N° 13 ABSORBANCIA EN MAGNESIO	97
GRAFICO N° 4 ABSORBANCIA EN MAGNESIO.....	97
4.3.1.2 Para 0.1 g de CaCO_3	98
TABLA N°. 14	98
TABLA N° 15.....	98
4.3.1.2.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL.....	99
TABLA N° 16.....	99
GRAFICO N 5 ABSORBANCIA DE LA DUREZA TOTAL 0.1 g DE CARBONATO	99
4.3.1.2.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO.....	100
TABLA N° 17. ABSORBANCIA EN CALCIO	100
GRÁFICO N° 6 ABSORBANCIA EN CALCIO.....	100
4.3.1.2.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO.....	101
TABLA N° 18 ABSORVANCIA DE MAGNESIO	101
GRAFICO N°. 7 ABSORVANCIA DE MAGNESIO.....	101

4.3.1.3 PARA 0.05 DE CaCO_3	102
TABLA N° 19	102
TABLA N° 20.....	102
4.3.1.3.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL.....	103
TABLA N° 21 ABSORBANCIA DDUREZA TOTAL EN 0.05 g.....	103
GRAFICO N° 8 ABSORBANCIA DDUREZA TOTAL EN 0.05 g.....	103
4.3.1.3.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO.....	104
TABLA N° 22 ABSORVANCIA EN CALCIO EN 0.05 g.....	104
GRAFICO N° 9 ABSORVANCIA EN CALCIO EN 0.05 g.....	104
4.3.1.3.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO.....	105
TABLA N° 23 ABSORVANCIA EN MAGNESIO EN 0.05 g.....	105
GRAFICO N°10 ABSORVANCIA EN MAGNESIO EN 0.05 g.....	105
4.3.1.4 PARA 0.01 g DE CaCO_3	106
TABLA N° 24	106
TABLA N° 25.....	106
4.3.1.4.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL.....	107
TABLA N° 26 ABSORVANCIA DUREZA TOTAL EN 0.01 g.....	107
GRAFICO N°10 ABSORVANCIA DUREZA TOTAL EN 0.01 g.....	107
4.3.1.4.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCLA EN CALCIO.....	108
TABLA N° 27 ABSORVANCIA CALCIO EN 0.01 g.....	108
GRAFICO N°11 ABSORVANCIA CALCIO EN 0.01 g.....	108
4.3.1.4.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO.....	109
TABLA N° 28 ABSORVANCIA EN MAGNESIO EN 0.01 g.....	109
GRAFICO N°12 ABSORVANCIA EN MAGNESIO EN 0.01 g.....	109
4.3.2 PARA EL AGUA.....	110
4.3.2.1 VOLUMEN CONSTANTE (100 mL)....	110
TABLA N° 29.....	110
TABLA N° 30.....	110

4.3.2.2 VOLUMEN CONSTANTE (200 mL).....	111
TABLA N° 31.....	111
TABLA N° 32.....	111
4.3.3 PARA LA RESINA.....	112
4.3.3.1 CANTIDAD DE RESINA CONSTANTE.....	112
TABLA N° 33.....	112
TABLA N° 34.....	112
4.3.4 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL.....	113
TABLA N° 35 ABSORBANCIA DUREZA TOTAL DEL AGUA.....	113
GRAFICO N°13 ABSORBANCIA DUREZA TOTAL DEL AGUA.....	113
4.3.4.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO.....	114
TABLA N° 36 ABSORBANCIA EN CALCIO DEL AGUA TRATADA.....	114
GRAFICO N°14 ABSORBANCIA EN CALCIO DEL AGUA TRATADA.....	114
4.3.4.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO.....	115
TABLA N° 37 ABSORBANCIA EN MAGNESIO DEL AGUA TRATADA.....	115
GRAFICO N°15 ABSORBANCIA EN MAGNESIO DEL AGUA TRATADA.....	115
4.4 PARÁMETROS DE LA COLUMNA EXPERIMENTAL.....	116
TABLA N° 38.....	116
4.5 ABLANDADOR.....	117
TABLA N° 39.....	117
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	118
OPERACIONALIDAD DEL ABLANDADOR.....	119
CONCLUSIONES.....	121
RECOMENDACIONES.....	123
RESUMEN.....	124
SUMMARY	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

INDICE DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

ppm	Partículas por millón
VI	Volumen de lavado
NTUs	Unidades Nefelometricas turbidez
t	Tiempo de lavado
t_r	Tiempo de agotamiento
ε	Porosidad
H	Perdida de carga producida por el lecho
S	Peso especifico
D	Densidad real
P	Densidad kg/m^3
Ce	Concentración final
Co	Concentración inicial
cm	Centímetros
Q	Caudal
CICT	Capacidad de Intercambio Cationico Total
A	Área superficial
A_f	Área filtrante
Ohm	Ohmios
mm	Milímetros
μS	Microsiemes
mg/L	Miligramo sobre litro
HI	Longitud del desmineralizador
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización

g	Gramos
HTI	Grado Hidrotimétrico Ingles
HTF	Grado Hidrotimétrico Francés
HTA	Grado Hidrotimétrico Alemán
°C	Grados Celsius
gpm	Galones por minuto
Dap	Densidad aparente

INTRODUCCION

El agua es una sustancia de vital importancia para todos los seres vivos especialmente para el hombre, y es este que a través de su historia ha vivido casi exclusivamente para su supervivencia, el ser humano se ha servido de todo lo que le brinda la naturaleza esencialmente el agua es por esto que no puede ser menos estudiada.

El avance logrado por la técnica de ablandamiento es el resultado de un esfuerzo conjunto dirigido a lograr que la teoría exprese los resultados de las investigaciones experimentales, de tal modo que sea posible prever, en el diseño, cómo va a operar la unidad de ablandamiento en la práctica.

Las aplicaciones de los procesos de ablandamiento de aguas son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general, donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas de ingeniería química.

El agua de la politécnica y en esencia con la que trabajamos en los laboratorios de la facultad de ciencias y demás es un agua que viene directamente de las vertientes ubicadas en el sur de la institución de donde es bombeada hacia el norte de la misma de donde es distribuida por gravedad hacia todas las facultades, esta agua por ser agua subterránea sin ningún tipo de tratamiento posee una dureza muy elevada por encima de los límites permisibles dictados por la norma 1108 de tratamiento de aguas.

El problema que conlleva para los laboratorios en tener un agua muy dura es que en estos se trabaja con equipos que requieren de agua tratada, es decir sin dureza para que no exista problemas de precipitados, incrustaciones y problemas de corrosión, ya que por ejemplo en el caso de evaporadores o calderos van a evaporar el agua lo que

causaría la precipitación de las sales dando problemas de incrustaciones y a largo plazo el colapso del equipo.

ANTECEDENTES

El agua que se utiliza en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se obtiene a través de la perforación y bombeo de vertientes ubicadas dentro de los predios de la institución donde a través de tuberías es enviada hacia tanques reservorios situados en la parte superior e inferior de politécnica, donde los tanques inferiores van a proveer a las facultades cercanas a estos como mecánica, auditoria, industrial, etc. En cambio los reservorios superiores abastecerán a las facultades de ciencias, electrónica, pecuarias, agronomía, etc.

El agua que llega a la facultad de ciencias es un agua de vertiente que tiene un tratamiento previo a la salida de los tanques donde solo se somete a el agua a un proceso de filtración de sólidos suspendidos y sedimentación de impurezas y microorganismos por lo que se puede decir que debido a esto se produce una reducción de la dureza pero muy ínfima hablando de un 5% del total por lo que se puede garantizar mediante los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados previamente que el agua la recibimos con el doble de dureza de lo permisible según norma 1108 que sería de 800 ppm que es una cantidad riesgosa para la salud y para los equipos.

Las redes de tuberías de agua potable en la politécnica están dispuestas en circuito cerrado lo que quiere decir que tienen un sin número de tomas de agua que están conectadas a sus dos líneas principales que a su vez vienen por las dos vías principales en sentido vertical norte-sur por lo que no se puede aplicar el sistema de ablandamiento en todas las tomas, es por esto que el sistema de ablandamiento se aplicara a las dos cisternas que abastecen edificios, laboratorios, sanitarios, comedor de ciencias garantizando su optimo aprovechamiento y no peligrosidad para la salud.

JUSTIFICACION

La necesidad de la facultad de ciencias de contar con un agua ablandada o sin dureza es de vital importancia para la realización de las practicas y hasta para el consumo humano ya que con este equipo mediante el ablandamiento con sistema de lecho poroso se pretende bajar la dureza hasta los niveles permisibles por la norma INEN 1108 y así poder trabajar con los equipos adecuados para prácticas estudiantiles cosa que mas antes no se podía hacer debido a la dificultad que se tenía trabajar con agua de muy alta dureza.

En el agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, las concentraciones de iones calcio y magnesio son superiores a la de cualquier otro ion metálico con valores superiores a los permisibles (Dureza cálcica y magnésica) y de dureza sulfatada de similares condiciones, es por eso que la dureza del agua usada en la facultad de ciencias es conocida como dureza carbonatada.

La facultad de ciencias cuenta con un único sistema de destilación de agua el cual está ubicado frente a la facultad de electrónica y sirve para proveer de agua destilada en pequeñas cantidades destinadas a ser usadas solo para prácticas cortos de laboratorios y el lavado de materiales mas no para otros tipos de actividades que necesita la facultad siendo una de los más importantes la elaboración de alimentos en el comedor de la Facultad de Ciencias.

Con este sistema de ablandamiento estos problemas se solucionaran, aumentando la vida útil de equipos y tuberías que funcionan a base de agua.

Como estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con el conocimiento sobre la importancia

que implica la aplicación de un sistema ablandador para el tratamiento de aguas en diversos procesos industriales y en este caso a nuestra Facultad, siendo una de las futuras personas que se involucrara en la industria , se ha visto la necesidad de la realización del presente estudio de investigación buscando la manera de ampliar los conocimientos sobre cómo obtener un sistema de ablandamiento de aguas aplicándolo a el agua que se obtiene directamente de las cisternas o tanques de almacenamiento, y a su vez que son alimentadas de los tanques de reservorios ubicados en la parte más alta de la institución hacia el norte, misma que es extraída desde las vertientes ubicadas en el sur de la politécnica que a su vez son aguas subterráneas que indispensablemente necesitan ser tratadas con un sistema de ablandamiento.

El diseño y construcción facilita comprobar de manera práctica la calidad de agua obtenida luego de aplicar el sistema de ablandamiento para uso de esta en cualquier actividad en que se la requiera, equipo que servirá también para el avance y desarrollo práctico, de los alumnos en los laboratorios de la Facultad de Ciencias.

De acuerdo con los análisis realizados inicialmente en el agua de la cisterna que alimenta a los laboratorios de la facultad de ciencias se obtuvo según informe emitido por el “Laboratorio de análisis técnicos de la facultad de ciencias”. Informa que el pH, alcalinidad, fosfatos, se encuentran fuera de norma de los límites permisibles según norma INEN 1108.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Diseñar y construir un sistema de ablandamiento de agua a base de resinas de intercambio iónico para el tratamiento del agua de las cisternas que alimenta a la Facultad de Ciencias – Espoch.

ESPECIFICOS:

- Caracterizar el análisis físico-químico, y microbiológico del agua procedente de las cisternas que abastece a la Facultad de Ciencias.
- Examinar los niveles de pH, dureza, alcalinidad y fosfatos para verificar la viabilidad del tratamiento del agua a base de resinas iónicas.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de ablandamiento.
- Construir el sistema de ablandamiento de Agua.
- Justificar que el sistema de tratamiento de agua mediante material ablandador como resinas iónicas hayan eliminado los parámetros detectados fuera del límite emitido en el informe de análisis de laboratorio.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. TRATAMIENTO DE AGUA

1.1.1.- DEFINICIÓN

En ingeniería ambiental el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales – llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras. La finalidad de estas operaciones es obtener un agua con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal estos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, aunque ambos comparten muchas operaciones.

Se denomina estación de tratamiento de agua potable (ETAP) al conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios:

- Combinación de barreras múltiples (diferentes etapas del proceso de ablandamiento) para alcanzar bajas condiciones de riesgo,

- Tratamiento integrado para producir el efecto esperado,
- Tratamiento por objetivo (cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante).

Si no se cuenta con un volumen de almacenamiento de agua tratada, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño. Además, una planta de tratamiento debe operar continuamente, aún con alguno de sus componentes en mantenimiento; por eso es necesario como mínimo dos unidades para cada proceso de la planta.

1.1.2. IMPUREZAS DEL AGUA

Las aguas naturales utilizadas en los diferentes procesos industriales pueden ocasionar tres tipos de problemas: incrustaciones, corrosión y proliferación bacteriológica, lo que indudablemente afecta el desarrollo normal de las actividades industriales.

Las impurezas presentes en el agua pueden simplificarse en la siguiente figura:

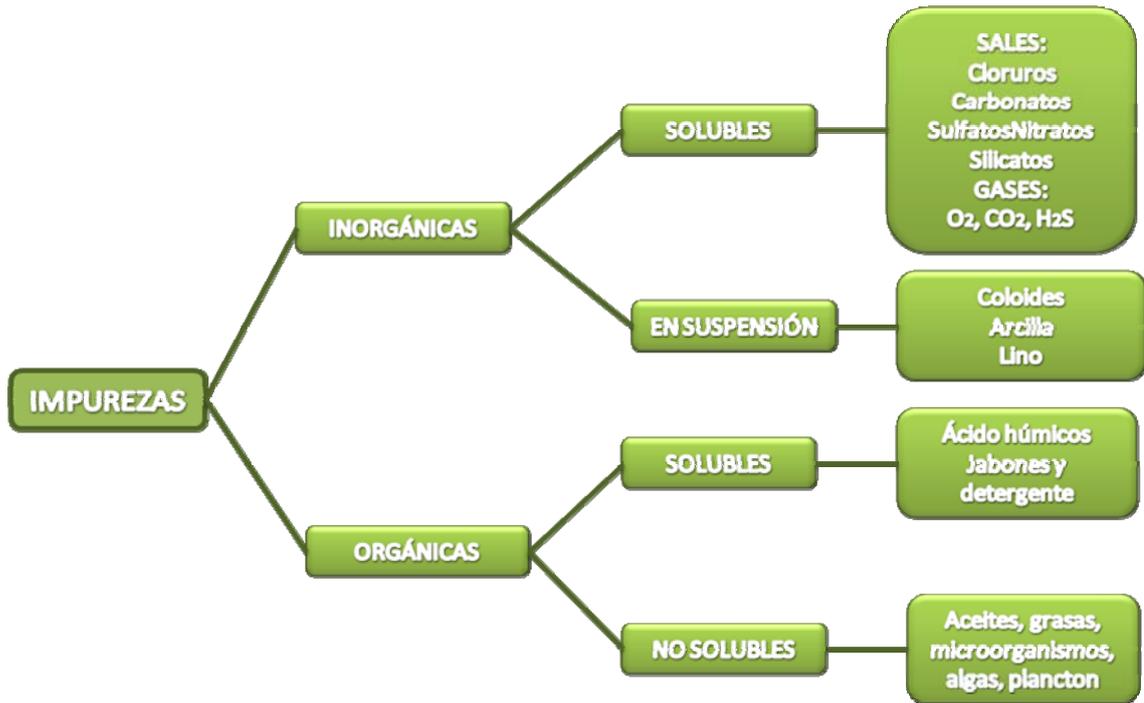


Figura 1.1.2 Impurezas presentes en el agua. (1)

1.1.3. FACTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se determina por la cantidad de sólidos suspendidos, la cantidad y el tipo de sales disueltas, el número y el tipo de bacterias presentes y su tendencia corrosiva o incrustante. Para garantizar el control de la calidad del agua debe realizarse pruebas periódicas y sistemáticas en diferentes puntos del sistema. El análisis del agua cuantifica la cantidad de impurezas disueltas en ella y determina ciertas propiedades físicas químicas (pH, índice de estabilidad, cloruros, dureza, alcalinidad, sulfatos, fosfatos, sílice, dióxido de carbono, etc.)

A continuación se mencionan los principales factores de la calidad del agua:

1.1.3.1. pH

El carácter ácido o básico del agua está dado por la concentración de los iones hidrógeno H^+ presentes. Se lo determina mediante los métodos: potenciométricos (pHmetro) y colorimétrico (con indicadores). Los valores recomendados dependerán del uso que se dé al agua. Para consumo humano se mantendrá en 6,5-8,5.

1.1.3.2. COLOR

Ciertos compuestos en solución o en estado coloidal confieren color a las aguas superficiales, el cual se determina por comparación con estándares. La materia orgánica vegetal degradada proporciona generalmente mucho color al agua.

1.1.3.3. TURBIDEZ

Es debido a la presencia de coloides y materia orgánica e inorgánica en suspensión, que puede ser finamente dividida y por lo tanto de difícil sedimentación (turbidez), o de grano grueso que produce rápidamente sedimento. Los valores de turbidez pueden variara extensamente desde valores de cero en aguas subterráneas hasta 60000 ppm, en aguas turbias de río. En general, la turbidez y sedimento son indeseables en las aplicaciones industriales.

1.1.3.4. ALCALINIDAD

Se cuantifica en el agua por titulación de 50 ml de agua con ácido sulfúrico 0,02 N, anotándose el consumo del mismo en el momento de viraje de los indicadores de fenolftaleína y rojo de metilo. El primer consumo multiplicado por 20 representa la alcalinidad P expresada como $CaCO_3$. El consumo total de ácido hasta viraje del rojo de metilo multiplicado por 20 nos da la alcalinidad M o total expresada como $CaCO_3$

Estos valores de alcalinidad P y M no representan la concentración de algún ion en particular, sino mas bien el efecto de todos los iones que contribuyen a dar alcalinidad como carbonatos, hidróxidos, bicarbonatos, fosfatos, etc. Sin embargo, como una regla empírica práctica se asume la titulación hasta viraje de la fenolftaleína consume los hidróxidos y la mitad de los carbonatos, y la titulación hasta viraje del rojo de metilo consume todos los álcalis, es decir hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.

De acuerdo a esto, por medio de la siguiente tabla se calcula las alcalinidades debidas a los tres diferentes iones expresados como CaCO_3 .

Alcalinidad P y M	Hidróxidos (OH)	Carbonatos (CO_3)	Bicarbonatos (HCO_3)
$P = 0$	0	0	M
$P = M$	M	0	0
$P = \frac{1}{2} M$	0	M	0
$P < \frac{1}{2} M$	0	2P	$M - 2P$
$P > \frac{1}{2} M$	$2P - M$	$2(M - P)$	0

Tabla 1.1.3-1. Alcalinidad de los tres iones como CaCO_3

1.1.3.5. DUREZA TOTAL

La dureza se refiere al contenido de calcio y magnesio, expresados como CaCO_3 . Se lo determina moderadamente por complejometría, es decir, realizando una titulación con un producto como EDTA. Mediante la utilización de indicadores y valores de pH apropiados se cuantifica la dureza debida al calcio y la dureza total. La diferencia representa la dureza del magnesio.

La dureza del agua indica su tendencia a formar incrustaciones. En general se considera:

CaCO₃	
Menor de 50	Agua blanda
Entre 50 y 100	Agua mediamente dura
Entre 100 y 150	Agua dura
Mayor de 150	Agua muy dura

Tabla 1.1.3-2. Tendencia del agua a formar incrustaciones

Las aguas duras requieren un proceso de ablandamiento para eliminar carbonatos y sulfatos de Ca y Mg, de esta manera evitar las incrustaciones en los equipos y accesorios.

1.1.3.6. SÍLICE

Es indeseable la presencia de sílice en el agua de alimentación de calderas ya que este tipo de impurezas ocasionan incrustaciones duras y arrastre.

La concentración de sílice en el agua de alimentación de un caldero de baja presión debe ser < 150 ppm.

La sílice puede, por sí sola o combinada fundamentalmente con el magnesio, formar incrustaciones muy duras. En un caldero de baja presión la concentración máxima recomendable es de 150 0 200 ppm de sílice por lo que el valor de 175 ppm debe observarse con atención. La sílice puede además ser acarreada fácilmente por el vapor, sobre todo a altas presiones, y producir depósitos en las aletas de turbinas.

1.1.3.7. HIERRO

El contenido de sales de hierro es importante ya que es el causante del color en el agua se determina por métodos gravimétricos o colorimétrico. El hierro y el manganeso pueden producir las llamadas aguas rojas o negras, debido a la precipitación de los hidróxidos correspondientes por efecto de la oxidación de las sales solubles que originalmente contenía el agua.

La presencia de hierro en el agua también refleja la corrosión del metal de los equipos del metal de los equipos, tuberías, tanques, etc. con los cuales está en contacto dicha agua. Concentraciones de hierro entre 0,5 y 1,00 ppm pueden ser aceptables dependiendo de las condiciones anteriormente citadas.

1.1.3.8. CLORO RESIDUAL

Es necesario que el agua contenga un residuo de cloro (0,8 ppm) para garantizar la eliminación de bacterias y virus. Para determinar el cloro residual se utiliza el método colorimétrico con la N, N – dietil-p-fenilaldiamina (DPD).

1.1.3.9. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Se determina en forma directa por evaporación del agua y pesada del residuo salino. Se lo determina también por cálculo a partir de la conductividad del agua, medida por un puente de conductividad. Los sólidos totales disueltos nos indican la cantidad de sustancias sólidas disueltas en el agua. Están relacionadas con la tendencia corrosiva o incrustante del agua.

1.1.3.10. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Nos da un criterio sobre la turbiedad y sedimentos del agua y son indeseables en el agua para calderos, espuma y lodos. Este tipo de impurezas se los determina gravimétricamente y se lo expresa en ppm.

1.1.3.11. ÍNDICE DE ESTABILIDAD

Conociendo la dureza, temperatura, pH y la alcalinidad del agua, se puede cuantificar la tendencia del agua a ser incrustante o corrosiva. El índice de Langelier se fundamenta en el grado de saturación del carbonato de calcio que posee el agua. Si en el agua el carbonato cálcico se encuentra saturado, ella no posee la tendencia ni corrosiva ni incrustante y su valor de pH en dicho estado corresponde al pH de saturación (pH_s). Si el pH > pH_s, el agua es incrustante; si el pH < pH_s, el agua es corrosiva.

El índice de Langelier se lo calcula de la siguiente manera:

$$\text{ÍNDICE DE LANGELIER} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad \text{Ec.1.1.3 - 1}$$

$$\text{pH}_s = 1 \text{ alc.} + 1 \text{ dur. cal} + 1 \text{ sol. dts} \quad \text{Ec.1.1.3 - 2}$$

Donde:

1 alc.: índice correspondiente a la alcalinidad del agua

1 sol. dts.: índice correspondiente a los sólidos disueltos.

1 dur. cal.: índice correspondiente a la dureza cálcica

El índice de Langelier es parámetro solamente cuantitativo, ya que no magnifica en que grado el agua es corrosiva o incrustante. Estas propiedades pueden ser cuantificadas con el índice de Ryznar.

$$\text{ÍNDICE DE RYZNAR} = 2 \text{pH}_s - \text{pH}$$

Ec. 1.1.3 - 3

Los valores de este índice nos dan un criterio de la agresividad del agua según el siguiente cuadro:

INDICE DE RYZNAR	TENDENCIA DEL AGUA
4 – 5	Muy incrustante
5 – 6	Ligeramente incrustante
6 – 7	Ni incrustante ni corrosiva
7 – 7,5	Ligeramente corrosiva
7,5 – 9	Muy corrosiva
9	Excesivamente corrosiva

Tabla 1.1.3-3 Tendencia del agua respecto al índice de Ryznar.

1.2. FILTRACIÓN

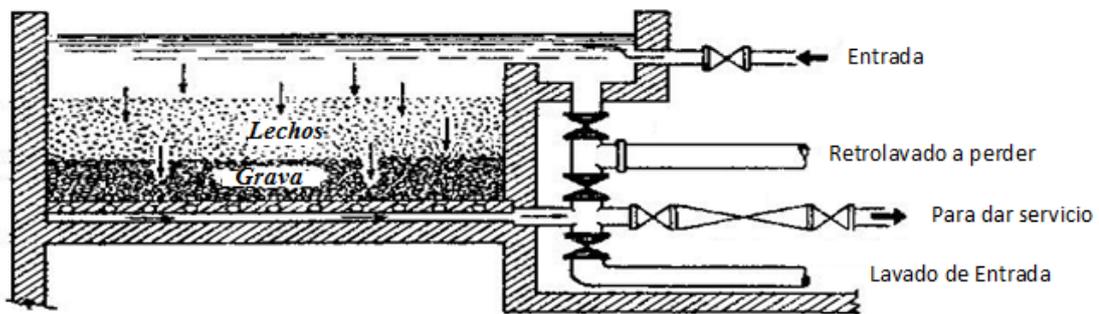
Tiene por finalidad separar sólidos en suspensión. Puede ser una operación independiente o asociada a una previa clarificación. El grado de filtración depende de la finura del medio filtrante y del diseño del filtro.

Tanto en los filtros de gravedad como en los de presión, el agua fluye de arriba hacia abajo a través de capas de arena fina, grava, antracita, calcita, etc.

El agua clarificada se colecta en el fondo. Generalmente conviene que el agua que entre al filtro con algún coagulante que forme flocúlos pequeños que atrapen las partículas muy finas. En la operación de los filtros rápidos es muy importante una operación de retrolavado que permita limpiar periódicamente el filtro. Esta operación consiste en hacer fluir agua en sentido contrario del flujo de filtración, es decir, de abajo hacia arriba. A una velocidad de flujo apropiado que produce una expansión del lecho filtrante, con un efecto limpiador favorecido por el roce mutuo entre las partículas. La expansión del lecho debe ser aproximadamente un 50% de su volumen. El flujo y la presión necesaria dependen de la densidad del lecho filtrante.

1.2.1. FILTROS POR GRAVEDAD

Son aquellos que están abiertos a la atmósfera. Sobre un fondo de diseño especial, descansa sobre un lecho de grava o antracita gruesa y sobre ella lechos de arena y antracita fina de tamaño de partícula decreciente. La capa de lecho filtrante es de 1,2 a 1,6 m. el flujo de filtración varía entre 0,92 y 4,8 gpm/pie². El retrolavado se realiza cuando la pérdida de presión alcanza los 2 o 3 metros de columna del agua.



Figural.2-1. Filtro por gravedad

1.2.2. FILTROS DE PRESIÓN

Pueden ser verticales u horizontales y están formados por una coraza cilíndrica, que contiene lecho filtrante. Están equipados con los accesorios necesarios para realizar las operaciones de filtración retrolavado y enjuague figura 1.2-2 a) representa un filtro vertical de presión. La facilidad de poder operar con presión permite flujos de filtración altos. Además, pueden ser intercalados en sistemas de tubería sin necesidad de rebombeo, y también, pueden permitir operara temperaturas elevadas sin mayores pérdidas de calor.

Los de tipo horizontal son menos usados por problemas de estabilidad de los lechos filtrantes, aunque ofrecen la ventaja de menor flujo y presión de retrolavado, puesto que cada compartimiento puede ser operado individualmente.

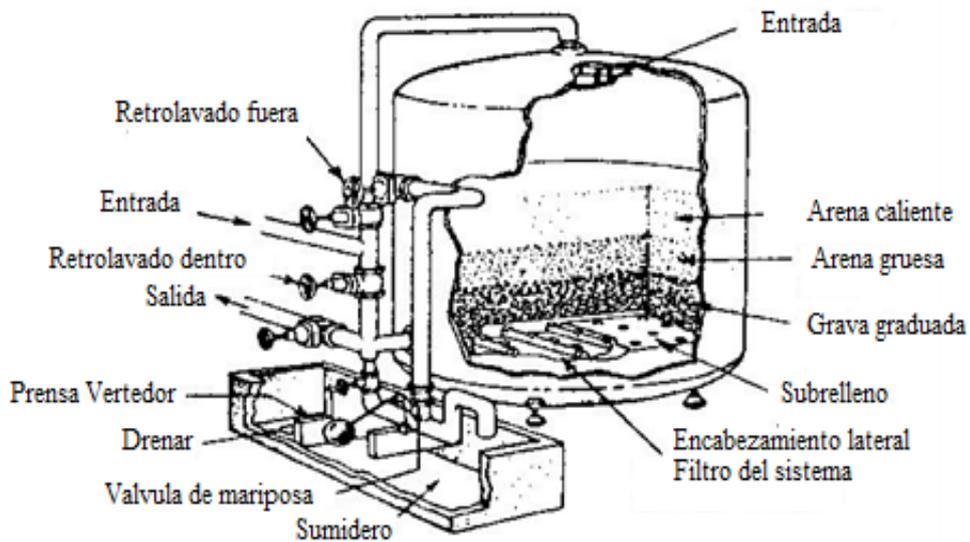


Figura 1.2-2. a) Filtro de presión vertical

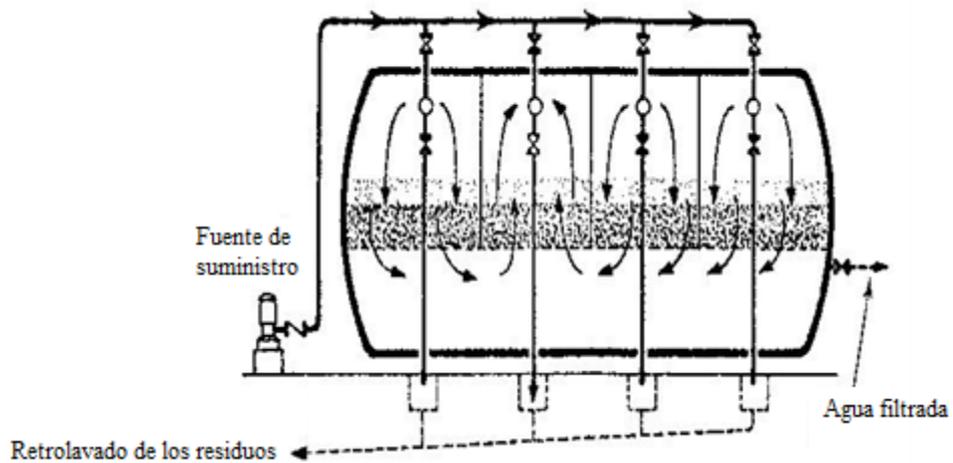


Figura 1.2-3 b) Filtro de presión horizontal

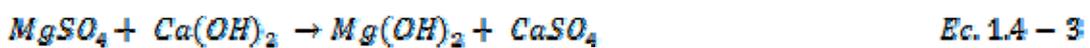
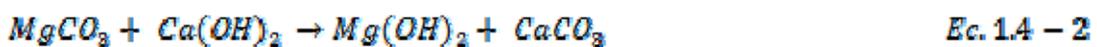
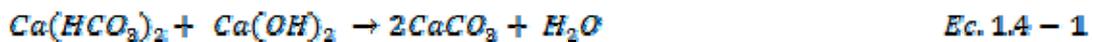
1.3 DESMINERALIZACIÓN

Esta operación se realiza para eliminar la dureza del agua, en el caso del ablandamiento, y para eliminar casi por completo las sales disueltas, en el caso de la desmineralización.

1.4 ABLANDAMIENTO QUÍMICO

Por medio de la adición de ciertos productos, como cal y sosa, se puede precipitar casi completamente al calcio y magnesio en forma de compuestos muy insolubles.

Las principales reacciones que se producen son:



Las operaciones de ablandamiento químico se realizan en frío o en caliente, siendo el último método el más efectivo, pero a la vez el más complicado. La operación en frío se puede realizar en tanques o en reservorios de sedimentación abiertos, así como también en equipos similares a los clarificadores de flujo vertical. La operación en caliente se realiza en equipos cerrados y presurizados, como el que se observa.

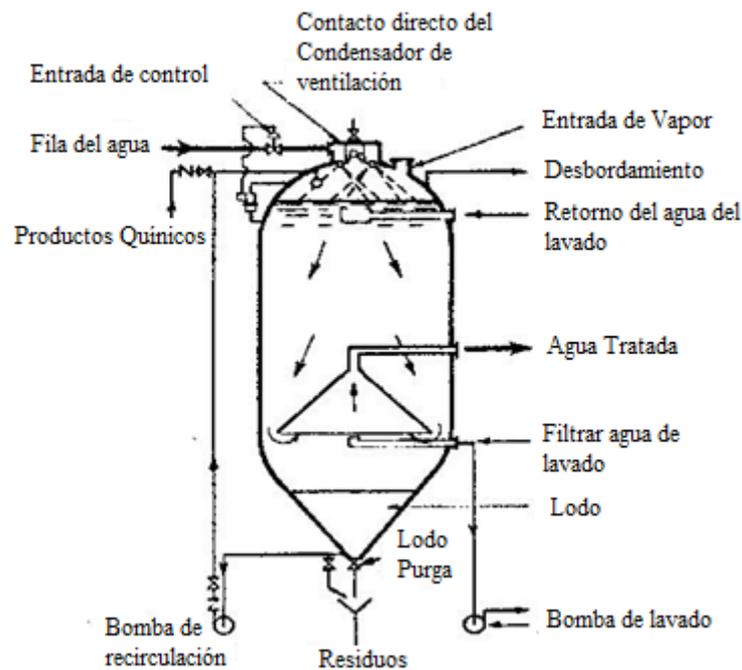


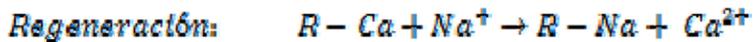
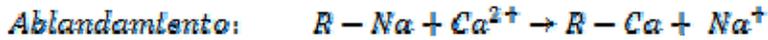
Figura 1.4-1 Esquema de un equipo de ablandamiento químico

1.5. ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIO IÓNICO

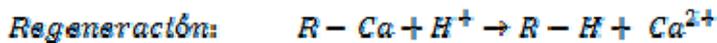
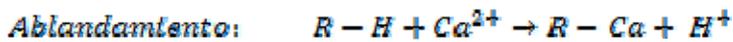
Ciertos productos como las resinas y ciertas resinas sintéticas tienen grupos activos en su estructura química, capaces de intercambiar los iones del agua por iones sodio, hidrógeno u oxidrilos, con lo cual se logra eliminar dureza o las sales totales del agua.

Si se representa por R a la estructura básica de la resina o de una resina sintética, podemos tener las siguientes reacciones:

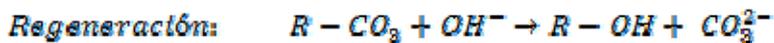
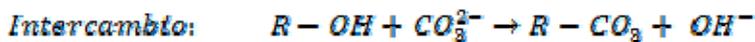
Ciclo de sodio:



Ciclo ácido:



Ciclo básico:



El ciclo de sodio es utilizado para ablandar el agua, pues reemplaza los iones calcio y magnesio del agua por los iones sodio. La regeneración del intercambiador iónico se lo realiza con salmuera. La resina en este caso es del tipo catiónico.

Los ciclos ácido y básico, los cuales se realizan con un intercambiador catiónico para el primer paso y aniónico para el segundo, se los utiliza en combinación para desmineralizar el agua, pues, cambian todo tipo de cationes y aniones por iones

hidrógeno y oxidrilo (agua). La regeneración en estos casos se realiza en soluciones de ácido sulfúrico (resina catiónica) y sosa caústica (resina aniónica).

Las resinas aniónicas pueden ser débilmente básicas, en cuyo caso remueven solamente los aniones fuertes, y fuertemente básicas que permiten separación inclusive aniones débiles como sílica.

La operación de intercambio iónico se realiza en unidades como indica la figura 1.5-1.

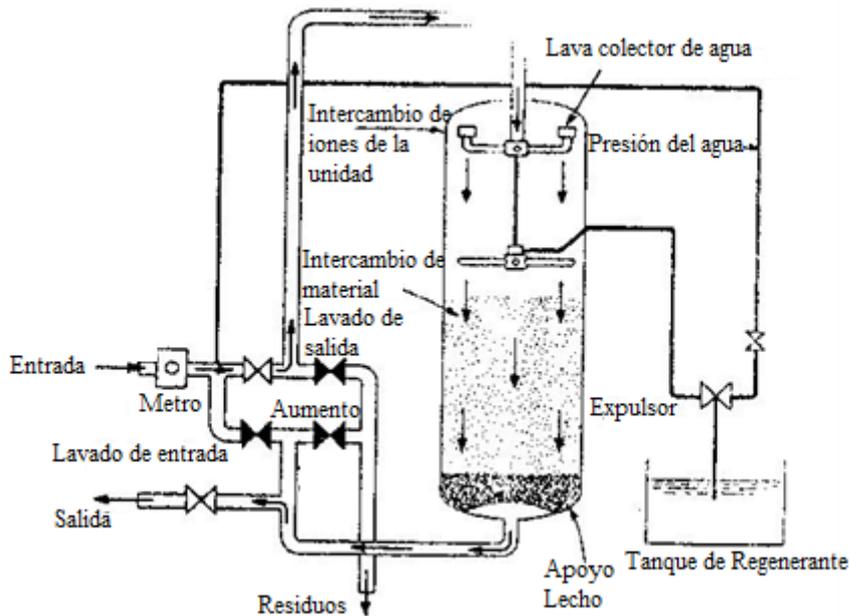


Figura 1.5-1. Esquema de un equipo de ablandamiento por intercambio iónico.

1.6. INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran

unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. La eficacia del proceso depende del equilibrio sólido-fluido y de la velocidad de transferencia de materia. Los sólidos suelen ser de tipo polimérico, siendo los más habituales los basados en resinas sintéticas.

Una resina de intercambio iónico puede considerarse como una estructura de cadenas hidrocarbonadas a las que se encuentran unidos de forma rígida grupos iónicos libres.

Estas cadenas se encuentran unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que proporciona rigidez a la resina y donde el grado de reticulación o entrecruzamiento determina la estructura porosa interna de la misma. Como los iones deben difundirse en el interior de la resina para que ocurra el intercambio, la selección del grado de reticulación puede limitar la movilidad de los iones participantes.

Las cargas de los grupos iónicos inmóviles se equilibran con las de otros iones, de signo opuesto, denominados contra iones, que están libres y que son los que se intercambian realmente con los del electrolito disuelto. Cuando dichos iones son cationes, los cambiadores iónicos se denominan catiónicos y cuando son aniones se denominan aniónicos.

La operación de intercambio iónico comprende el intercambio entre los iones presentes en una disolución (contaminantes) y los iones de un sólido (resina). Estas operaciones son básicamente reacciones químicas de sustitución entre un electrolito insoluble con el cual se pone en contacto la solución, los mecanismos de estas reacciones son tan parecidos a las operaciones de adsorción que se considera como un tipo especial de adsorción.

Conviene tener presente que el empleo de intercambiadores de iones está sujeto a cierto número de condiciones que se desconocen con mucha frecuencia:

- Sólo trabajar en presencia de una fase líquida en concentración limitada.
- Están destinadas a fijar iones y no a filtrar materias en suspensión, coloides o emulsiones grasas. La presencia de estas sustancias acorta la duración de estos productos.
- La presencia en el agua de gases disueltos en gran cantidad pueden dar lugar a fuertes perturbaciones en la actividad de los cambiadores.
- Los oxidantes energéticos (C_{12} y O_2) afectan ciertas resinas.
- Por último, y de forma general, la aplicación a escala industrial de los resultados de laboratorio o de la información facilitada por los fabricantes de los intercambiadores iónicos, exige mucha prudencia porque de esto dependerá el éxito o fracaso de la aplicación a nivel industrial.

Desde el punto de vista de su utilidad para purificación del agua, los tres grupos principales de materiales de intercambio iónico son: a) cambiadores catiónicos de sodio, b) cambiadores catiónicos de hidrógeno y c) cambiadores aniónicos. Esencialmente, los cambiadores de iones son transportadores que son insolubles e inertes en alto grado, y a los que se encuentran unidos grupos polares activos que les confiere el poder de intercambiar iones.

1.7. TIPOS DE MATERIALES INTERCAMBIO IÓNICO

1.7.1. CAMBIADORES CATIÓNICOS DE SODIO

Incluye las zeolitas silicosas de carbón sulfonado y resina de intercambio de sodio.

Intercambiadores silicosos.- Su capacidad de intercambio es de 2,8 kg por pie^3 a una eficiencia de regeneración de 0,45 lbs. (0,204kg) por kg de dureza. Pueden obtenerse capacidades hasta de 3,5 a 5,0 kg por pie^3 con tratamientos especiales para aumentar la porosidad, pero a expensas de la durabilidad.

La resina arenosa roja, generalmente es áspera, pero resistente solamente sobre un intervalo de pH de 7,2 a 8,0. Las sales ferrosas y manganosas remueven simultáneamente con la dureza. Se removerán 10 partes por millón de hierro soluble por cada 342 ppm dureza.

El producto comercialmente obtenible, se prepara a partir de un grado seleccionado de carbón butiminoso y es un intercambiador iónico durable, apto para trabajo pesado, que ha probado ser muy satisfactorio. Este tipo de material cambiador no aporta sílice al agua suavizada como lo hacen las **resinas silicosas**, y puede tolerar un pH tan bajo como el de los ácidos minerales diluidos y tan alto como el del agua suavizada con cal.

Las llamadas **resinas carbonosas**, removerán el hierro en una forma similar a las arenas verdes. Operando en ciclo de sodio, la capacidad de intercambio de este material es de 7 kg por pie^3 , cuando se regenera con 0,45 lb. (0,204 lbs.) de sal por kilogramo de dureza removida. Las concentraciones altas de sales de sodio, o una dureza elevada, reducen la capacidad unitaria de intercambio del ablandador.

Resinas de intercambio de sodio, las primeras de ellas fueron polímeros fenólicos que tuvieron una capacidad mayor que cualquiera de los materiales entonces obtenidos.

Estas mismas fueron seguidas por polímeros de estireno, de enlaces cruzados con derivados de vinilo y conteniendo grupos de intercambio nuclear-sulfónico fuertemente ácidos.

Estos tienen aun mayor capacidad, resistencia al cloro libre, libertad de “desprender color”, costo más bajo de materia prima, y otras ventajas

La producción de resinas intercambiadoras fenólicas para tratamiento de agua se redujo grandemente a causa de estos materiales. Subsecuentemente, las necesidades de cambiadores de capacidad intermedia llevó al mejoramiento de cambiadores fenólicos y de resinas de estireno conteniendo un menor número de grupos nuclear-sulfónico por unidad de volumen.

Cambiadores catiónicos de hidrógeno: de los cambiadores catiónicos, cuyas características en el ciclo de sodio ya fueron descritas anteriormente, todos, con excepción de los silicatos, pueden ser regenerados con ácidos y operados en el ciclo de hidrógeno. El regenerante más comúnmente usado es el ácido sulfúrico. Cuando se aplica ácido sulfúrico en altas concentraciones para regenerar intercambiadores de bases agotadas por el tratamiento de aguas que contienen alto porcentaje de calcio, los iones de calcio removidos pueden precipitar en el lecho como sulfato de calcio. Durante el enjuague, este precipitado se disuelve y gasta parte de la capacidad del material, dejando calcio en el lecho y produciendo aún un efluente con ácidos minerales. Por esta razón, si el calcio excede del 20 por ciento de los cationes totales el ácido sulfúrico se emplea en solución diluida (2 %) y a alto flujo durante la primera parte de la regeneración, y la concentración se aumenta por pasos hasta el nivel óptimo.

La fuga de sodio se debe a los ácidos minerales formados en la parte superior del lecho que se percolan a través de él y reemplazan al sodio que queda en las capas interiores por regeneración incompleta. Por tanto, es importante usar ácido regenerante en la cantidad, concentración y tiempo de contacto que regenerarán completamente el lecho y que reduzcan la fuga hasta el nivel dictado por las especificaciones del agua terminada.

El calcio y el magnesio en el efluente son insignificantes y el 12 por ciento de fuga, de acuerdo a esta estimación, es prácticamente sodio en su totalidad. En la práctica, sin embargo, se ha encontrado que la fuga de sodio es considerablemente menor. Los grupos débilmente ácidos carboxílico e hidroxifenólico que suplementan a los grupos de ácido sulfónico como cambiadores activos de carbón sulfonado, favorecen una regeneración completa con ácido sulfúrico a una dilución tan baja como del 2 por ciento, por lo tanto, la fuga de sodio es baja, las dificultades con el sulfato de calcio se eliminan y la eficiencia de regeneración es alta.

1.7.2. CAMBIADORES DE HIDRÓGENO

Las capacidades de intercambio varían dentro de un amplio margen, dependiendo del análisis del influente y del nivel de regeneración.

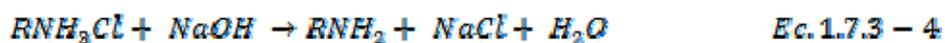
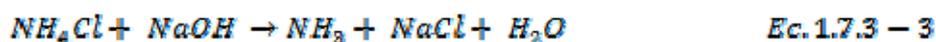
La capacidad de una resina cambiadora de cationes en el ciclo de hidrógeno aumenta y disminuye la fuga, con la existencia de un alto porcentaje de bicarbonatos en los aniones del influente. También la capacidad es mayor para aguas altas en sodio, pero la fuga aumenta rápidamente conforme el sodio asciende sobre el 50 por ciento.

Las resinas de alta capacidad nuclear-sulfónicas de polivinilo-estireno, pueden requerir un aumento progresivo o en etapas en la concentración del ácido hasta 8 por ciento, para dar regeneración más completa y eficiente. También para aguas altas en sodio, el nivel

de regeneración comúnmente de 2 a 4 lb. (0,908 a 1,816) de ácido sulfúrico de 66° Bé por pH_3 puede necesitar ser varias veces mayor si las especificaciones para el efluente requieren sólidos totales bajos.

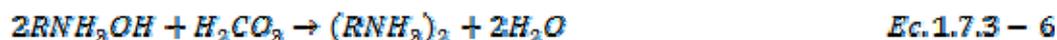
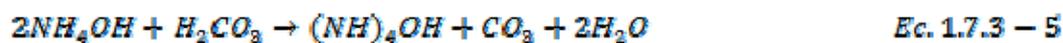
1.7.3. CAMBIADORES ANIÓNICOS

Estos son compuestos poliméricos esencialmente inertes que contiene grupos activos de nitrógeno, los que reaccionan como el amoníaco y el hidróxido de amonio. El amoníaco, NH_3 y la amina primaria, RNH_2 (en la cual R es un radical orgánico), absorberán ambos, ácidos inorgánicos tales como el clorhídrico por reacciones de adición.

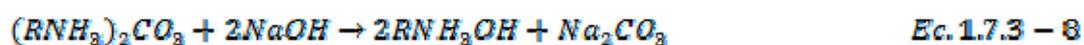
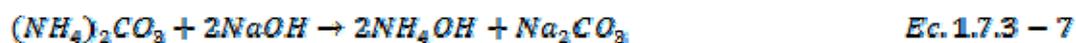


Estas ecuaciones tipifican las reacciones y regeneración de algunos cambiadores de aniones débilmente básicos, los que absorberán solamente ácidos fuertes. El carbonato de sodio, amoníaco u otras bases débiles sirven tan bien como los caústicos para la regeneración.

El hidróxido de amonio y cambiadores aniónicos fuertemente básicos son compuestos cuaternarios de nitrógeno, capaces de unir iones hidróxido que neutralizan tanto a los ácidos fuertes como a los débiles para formar las sales correspondientes.



La regeneración, en este caso, requiere una base fuerte tal como la sosa cáustica:



Los cambiadores fuertemente básicos han sido llamados con propiedad “caústicos sólidos insolubles”.

1.7.4. PROPIEDADES DE LOS CAMBIADORES

Las propiedades de los cambiadores que hay que considerar en el diseño de instalaciones de intercambio iónico son las que se describen a continuación.

1.7.5. PODER DE CAMBIO O CAPACIDAD

Se llama cambio a la cantidad de iones (cationes o aniones, según el caso) contenidos en un litro de resina y capaces de ser cambiados por otros iones.

Para facilitar los cálculos, se expresa este poder de cambio en equivalentes por litro de resina.

1.7.6. PODER DE CAMBIO ÚTIL

Se refiere al funcionamiento de una resina hasta un límite de utilización fijado, de acuerdo con el rendimiento que se debe obtener. El poder de cambio útil será por tanto inferior a la capacidad.

1.7.7. PODER DE CAMBIO DISPONIBLE

Representa la capacidad de un cambiador medida hasta que el contenido de iones del líquido entrante sea igual al de líquido que sale.

1.7.8. PODER DE CAMBIO TOTAL

Representa la cantidad total de iones capaces de ser cambiados cuando el producto ha sido regenerado con un exceso de reactivos.

1.7.9. FUGA IÓNICA

Representa la cantidad de iones que escapa a la permutación. Se expresa en porcentaje total de iones contenidos en el líquido a tratar. Esa fuga iónica, para los cambiadores de cationes, se explica cómo sigue. En la práctica, y principalmente por razones económicas, no se regenera nunca por completo un cambiador de iones. Subsiste por tanto siempre en el agua desmineralizada una pequeña cantidad de iones que se desean eliminar en la solución a tratar. Por ello, y debido al equilibrio químico que se establece entre una resina cambiadora de iones y la solución a depurar, nunca pueden eliminarse por completo los iones indeseables.

1.8. RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

Son poli electrolitos o macromoléculas insolubles en agua, compuestos por una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz de un polímero sintético.

Estas resinas de intercambio iónico reaccionan como ácidos, bases o sales, pero tienen la peculiaridad de tener sólo cationes o aniones con la habilidad de tomar parte de la reacción química, por su capacidad de migración.

Como la concentración de grupos polares en la resina es un número finito, éstas tienen una capacidad definida del intercambio. La ventaja de las resinas de intercambio iónico es que tienen habilidad para recuperar la capacidad original, mediante el tratamiento con una solución que puede ser ácido, una base o una sal, según la resina y el uso, que desplace los iones retenidos por la resina y los remplace por iones deseados.

Este procedimiento se llama regeneración y es el que permite utilizar la resina una y otra vez. Simplemente cuando la resina agota su capacidad de intercambio, se regenera.

La mayor parte de los materiales de esferas de intercambio iónico se fabrican usando un proceso de polimerización de suspensión, que utiliza estireno y divinilbenzeno (DVB).

El estireno y DVB, ambos líquidos en un principio, se colocan en un reactor químico con más o menos la misma cantidad de agua. Asimismo está presente un agente flotador para mantener todo disperso. El reactor químico tiene un agitador que comienza a mezclar la solución de agua/sustancia química orgánica. El estireno/ DVB comienza a formar grandes glóbulos de material, y al aumentarse la velocidad de agitación, los glóbulos se dividen en gotitas más pequeñas hasta alcanzar un tamaño de más o menos

un milímetro. En ese momento inicia la reacción de polimerización a través de la adición de peróxido de benzoilo, el cual hace que las moléculas de estireno/DVB formen las esferas pequeñas de plástico que resultan.

El divinilbenzeno es un agente anti – cruzante que le proporciona a las esferas su fortaleza física, y sin el cual el estireno sería soluble en el agua.

La esfera de poliestireno-DVB necesita ser químicamente activada para funcionar como material de intercambio iónico. Los grupos activados son ligados para proporcionarle funcionalidad química a la esfera.

Cada grupo activo posee una carga eléctrica fija, la cual es balanceada por un número equivalente de iones de carga opuesta, los cuales tienen la libertad de intercambiarse con otros iones de la misma carga. Las resinas catiónicas fuertes se forman tratando a las esferas con ácido sulfúrico concentrado (un proceso conocido como sulfonación) para formar grupos sulfónicoácidos permanentes, de carga negativa, a través de las esferas. Aquí es importante el hecho de que los sitios de intercambio formados de tal manera se encuentran ubicados a través de la esfera. El proceso de intercambio iónico no es un fenómeno de superficie; más del 99% de la capacidad de un material de intercambio iónico se encuentra en el interior de la esfera.

Las resinas aniónicas fuertes se activan en un proceso de dos pasos que consiste en la clorometilación seguida de la aminación. Este proceso de dos pasos comienza con el mismo material de estireno/DVB que se usa para las resinas catiónicas. La única diferencia es que la cantidad de DVB que se utiliza es menor para permitir una esfera más porosa. El primer paso de la reacción es la ligación de un grupo diclorometilo a cada uno de los anillos de benceno en la estructura de la esfera. Este material plástico

intermedio clorometilizado debe reaccionar con una amina en un proceso conocido como aminación. El tipo de amina utilizada determina la funcionalidad de la resina. Una amina comúnmente utilizada es la trimetilamina (TMA), que crea un intercambiador aniónico fuertemente básico.

La mayor parte de los intercambiadores iónicos comerciales son de materiales plásticos sintéticos, como copolímeros de estireno y divinil benceno. Hay un balance fino entre la producción de un polímero poco entrecruzado que permite la entrada libre del agua para que la reacción sea rápida, pero que sólo es ligeramente soluble, y una resina muy entrecruzada, que sería insoluble, pero de uso más difícil a causa de las velocidades restringidas de intercambio tanto en el agotamiento como en la regeneración. Los intercambiadores iónicos para tratamiento de agua son, en esencia, insolubles.

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS DEL AGUA

El agua analizada es proveniente del laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias es decir es el agua que abastece a toda la Facultad de Ciencias, se han realizado todos los análisis en base de la norma INEN 1108 y cada una de las pruebas en base a los métodos de la misma norma.

El principal objetivo que busca un análisis de aguas en el laboratorio es, establecer la calidad de una agua para su uso adecuado, así por ejemplo si se trata de un agua para consumo humano, esta no debe poseer ninguna clase de contaminación ya que provocaría una alteración en la salud del consumidor. Si se desea una agua para el uso en la industria, se puede utilizar una agua proveniente de: ríos, lagos, pozos, o agua lluvia; pero, el agua que se vaya a utilizar no debe ser de carácter corrosivo que es un fenómeno frecuente de las redes que se alimentan con agua de pozo, y se traduce generalmente en la aparición de corrosión en las paredes de las tuberías, esta corrosividad es con frecuencia inherente a la ausencia de oxígeno.

Por otro lado se debe controlar que el agua no posea bicarbonatos de calcio los que son causantes de incrustaciones, que provocan el depósito de impurezas en las cañerías, por ejemplo, en el caso de un caldero, esta incrustación impedirá la transmisión de calor, que da lugar a recalentamientos locales y puede ser causa de explosiones.

Para controlar los procesos de tratamientos del agua, es necesario realizar análisis de laboratorio en forma periódica, para de esta manera conseguir los resultados deseados,

desde la obtención de un líquido claro y límpido para el consumo humano, hasta la del agua extra pura que es la que exige la industria.

2.1.1 MUESTREO

El muestreo es en base al método 1060 A y B del libro “Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas de desecho” que nos dice:

- Se debe usar botellas de vidrio o material plástico de por lo menos 2 litros, para poder realizar un análisis químico completo.
- La muestra debe ser tomada directamente de la fuente que se quiera analizar
- En llaves de agua potable es necesario dejar correr el agua por unos segundos para luego si tomar la muestra.
- En el momento de la toma de muestra se debe realizar las siguientes pruebas:
 - Control de pH
 - Determinación de temperatura del agua
 - Determinación la temperatura ambiental
- El análisis se lo realiza inmediatamente, es necesario separar alícuotas donde se agregará sustancias químicas que ayudan a preservar los parámetros deseados.

2.1.1.1 INTERVALOS DE TIEMPO ENTRE LA RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA Y SU ANÁLISIS

En términos generales, cuanto menos tiempo transcurra entre la toma de muestra y el análisis en el laboratorio mucho más satisfactorio serán los resultados. En forma general

podemos decir que los máximos permitidos para los diferentes análisis en cuanto a tiempo son:

- Agua no contaminada 72 Horas
- Agua sospechosa o ligeramente contaminada 48 Horas

2.1.1.2 MUESTRAS REPRESENTATIVAS

Para esto se debe elegir la mejor técnica de recolección. Antes de llenar el envase destinado para la muestra se debe enjuagar tres veces con la misma muestra.

Entre los factores que los resultados, tenemos la turbiedad, el mismo que se puede eliminar haciendo uso de aireación.

Se debe llevar un registro de cada muestra recolectada y cada frasco se debe identificar adecuadamente, para esto se utilizará una etiqueta debidamente rotulada la misma que debe constar de:

- **Procedencia.** - El lugar donde fue tomada la muestra y dirección exacta
- **Fecha y hora.** - Precisar día, mes, y hora en la cual se tomo la muestra, y de igual manera, en el instante que comiencen a realizar los análisis
- **Origen.** - Se dará a conocer, si la muestra fue tomada de la llave, en la red, o en un abastecimiento de agua dorada
- **Temperatura.** - Determinar la temperatura del ambiente y de agua en el momento en que se muestrea.
- **Responsable.** - Debe ser completamente legible el nombre de la persona que se encargo de realizar el muestreo.

2.1.1.3 FRECUENCIA DEL MUESTREO

Debido al uso que tendrá el agua de nuestro análisis será necesario tomar 2 muestras cada semana por un período de 2 meses para de esta manera realizar el control adecuado del equipo.

2.1.2 ANÁLISIS FÍSICOS

2.1.2.1 pH

Se puede utilizar diferentes métodos como el calorimétrico con indicador universal, liquido, varillas indicadoras de pH y el pHmetro.

EQUIPO

Por estar en el laboratorio se utilizó el método del pHmetro.

TÉCNICA

Se baso en el método 2310 A y B.

FUNDAMENTO	MATERIALES	TECNICA	CALCULO
El pH se define como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración molar de iones hidrogeno H^+	<ul style="list-style-type: none">• Vaso de precipitación• pHmetro.	Colocar 25 ml de muestra de un vaso de precipitación. Aforar con una solución buffer. Encender el equipo (electrodo de cristal) Introducir el electrodo en el vaso de precipitación. Leer el valor que indique.	$Ph = -\log(H^+)$ Donde: pH=potencial hidrogeno (H^+) =concentración molar de iones hidrogeno.

2.1.2.2 TEMPERATURA

Se procura en lo posible realizar la medición directamente en el momento en que se realiza la toma de muestra.

EQUIPO

Termómetro centígrado con intervalos de 0.5 °C, equipados con medios de protección.

TÉCNICA

Se baso en el método 2550 B

FUNDAMENTO	MATERIALES	TECNICA	CALCULO
Magnitud que mide el estado térmico de un sistema termodinámico en equilibrio.	<ul style="list-style-type: none">• Termómetro en escala centígrada.	Introducir el bulbo del termómetro en la muestra. Esperar unos segundos hasta estabilizar el nivel de mercurio. Anotar el valor de la temperatura.	$K=273.15+C$ Donde: K=temperatura en escala absoluta. C=temperatura en escala centígrada.

2.1.2.3 CONDUCTIVIDAD

Las aplicaciones son numerosas y es oportuno, distinguir las diferentes escalas de medida. Escala 199.99 μS , es el clásico campo del agua destilada, cuyos valores deben estar en el rango de 1 μS , o inferior a este valor.

La escala de 199.99 μS , corresponde a las conductividades, de las aguas potables naturales, El agua potable de montaña tiene cerca de 300 μS . Una de llanuras tiene de 450-500 μS . Una de río o lago de 350-500 μS . Y las aguas oligominerales de 800- 1000 μS .

El límite de μS para aguas de irrigación, no deben superar los 2000 μS para los cultivos en general, pero existen cultivos de una tolerancia más baja, como las begonias con un máximo de 1000 μS y las orquídeas que aceptan un máximo de 500 μS .

EQUIPO

- Conductímetro

TÉCNICA

Se baso en el método 2510 B

FUNDAMENTO	MATERIALES	TECNICA	CALCULO
<p>A la conductividad se la define como el movimiento de carga por iones en solución, por reacción electroquímica en la superficie de los electrodos y por movimientos de electrones en metales.</p> <p>La escala 1999,9 μS, corresponde a las conductividades de las aguas potables naturales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conductimetro • Recipiente de depósito de la muestra 	<p>Agitar la muestra.</p> <p>Colocar el electrodo del conductimetro en la muestra hasta cubrir suficientemente la superficie del electrodo.</p> <p>Se toma el dato luego de la lectura del conductimetro.</p>	$\mu = 1/2 \sum C_i * Z_i^2$ <p>Donde:</p> <p>μ=conductividad</p> <p>C_i=concentración del ion</p> <p>Z_i=carga del ion.</p>

CÁLCULO

Para el cálculo de la conductividad de una agua se debe, actuar de la siguiente manera:

Se ve el valor que marca la escala del instrumento, se multiplica por el valor que registra el equipo en unidades de OHMS o de micro OHMS, luego este valor obtenido se multiplica por 0.1 que es el tamaño de la celda que se utiliza para la medición, el valor obtenido es el que se reporta como conductividad.

2.1.2.4 TURBIDEZ

Turbidez, calidad de turbio. Oposición que ofrece una sustancia al paso de la luz y que es mayor que la que presenta naturalmente en estado puro.

El agua en estado puro es transparente, y es la presencia de sólidos suspendidos la que reduce la transmisión de la luz dispersándola o absorbiéndola. Aunque no es un parámetro con un valor indicador absoluto, es uno de los que habitualmente se emplean para caracterizar la calidad del agua, ya que una alta turbidez suele estar asociada a una baja calidad para ciertos usos.

En un cristal, indica el nivel de contenido de impurezas del mismo. Esta turbidez es muy importante porque condiciona la utilidad de los cristales empleados para construir emisores de láser o resta valor a las piedras de joyería.

EQUIPO

Los instrumentos que se emplean para medir la turbidez se denominan turbidímetros o nefelómetros y se miden en unas unidades de turbidez denominadas unidades

nefelométricas o NTUs (del inglés nephelometer turbidity units). El nefelómetro mide la luz que es dispersada con un ángulo de 90°.

El espectrofotómetro también se utiliza en este tipo de mediciones aunque no es tan específico para ello como el nefelómetro: el espectrofotómetro mide la luz transmitida a través del cuerpo en cuestión, y esta luz está, de modo aproximado, inversamente relacionada con la luz dispersada.

TÉCNICA

Se baso en el método 2130 Ay B.

FUNDAMENTO	MATERIALES	TECNICA
La turbiedad utiliza un método de dispersión elástica que se utiliza para medir la concentración de partículas en suspensión. En este método se mide la disminución en la radiación transmitida que resulta de la dispersión de la luz por partículas. Se mide en unidades de turbidez (UNT).	• Nefelómetro o turbidímetro.	Colocar en la celda agua destilada para la calibración del equipo. Colocar la muestra de agua en la celda. Medir el valor que indica.

2.1.3 ANÁLISIS QUÍMICOS

En el análisis químico se puede determinar la calidad de un agua, saber si es o no apta para consumo humano, o a su vez para ser usada en la industria, o en las actividades donde el agua es el principal componente

2.1.3.1 DUREZA

La dureza de las aguas naturales es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales. La que se debe a los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio se denomina dureza temporal y puede eliminarse por ebullición, que al mismo tiempo esteriliza el agua. La dureza residual se conoce como dureza no carbónica o permanente. Las aguas que poseen esta dureza pueden ablandarse añadiendo carbonato de sodio y cal, o filtrándolas a través de resinas naturales o artificiales que absorben los iones metálicos que producen la dureza, y liberan iones sodio en el agua. Los detergentes contienen ciertos agentes separadores que inactivan las sustancias causantes de la dureza del agua.

2.1.3.1.1 PRINCIPIO

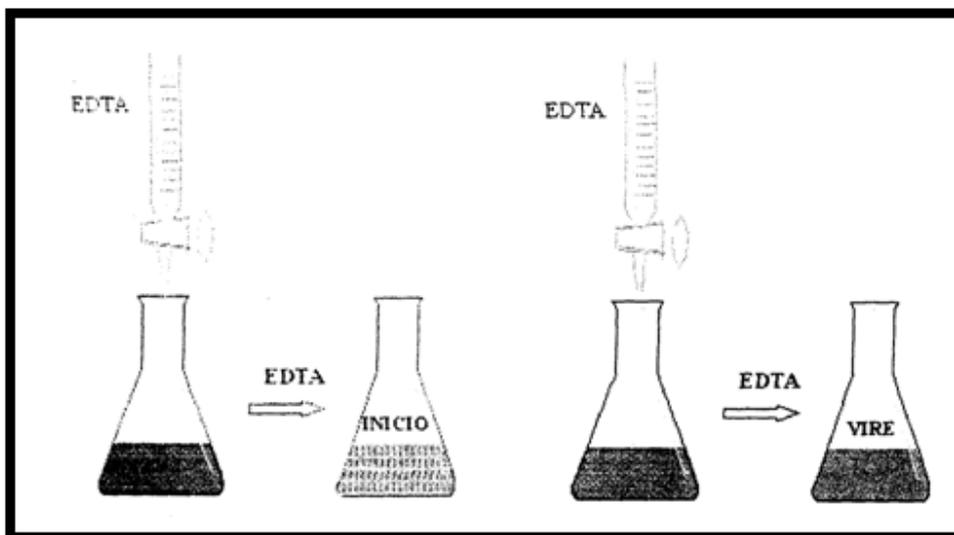
Para la determinación de la dureza se utiliza el método complexométrico, en el que se emplea un agente complejante, como la sal sódica del ácido etiléndiaminotetraacético (EDTA) y sus sales de sodio, que tiene la capacidad de formar complejos altamente estables con metales pesados especialmente con el Ca_2 y el Mg_2 .

Cuando se emplea una pequeña cantidad de un colorante como el negro de eriocromo T, a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio, a un valor de pH de 10 ± 0.1 , la solución vira al rojo vino, si entonces se agrega EDTA como titulador se forma complejos de calcio y magnesio, agregando suficiente EDTA como titulador se forman complejos de calcio y magnesio, luego se dará el viraje de color del rojo vino al azul que indica el punto final de la titulación. La precisión del viraje de color es mejor cuando aumenta el pH, pero este no se puede incrementar indefinidamente por el peligro de que precipite el CaCO_3 o $\text{Mg}(\text{OH})_2$ y debido a que el colorante cambia su color a valores altos de pH se recomienda como el más satisfactorio este procedimiento. Se debe fijar un límite entre 5 a 6 minutos para la valoración, con el objetivo de reducir la tendencia a la precipitación de CaCO_3 .

TÉCNICA

Se baso en el método 2340 B y C.

FUNDAMENTO	MATERIALES	TECNICA	CALCULO
<p>La dureza del agua se ha definido como la capacidad de los cationes presentes en el agua para desplazar a los iones de sodio o potasio de los jabones y formar productos insolubles, que son los causantes de las costras en las tuberías y lavabos. En las aguas naturales, las concentraciones de iones calcio y magnesio son superiores a las de cualquier otro ion metalico, por consiguiente la dureza se define ahora como la concentración de carbonato de calcio $(CaCO_3 \frac{mg}{L})$ que equivale a la concentración total de todos los cationes multivalentes de la muestra.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erlenmeyer • Bureta • Pipeta • Vaso de precipitación. 	<p>Tomar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.</p> <p>Agregar 2 ml de solución amortiguadora.</p> <p>Agregar 1 ml de solución cianuro de potasio.</p> <p>Poner el indicador de negro de ericromo T.</p> <p>Agregar lentamente el EDTA hasta que el viraje de color rojizo a azul.</p>	$[CaCO_3] = \frac{V_1 \times M \times 105}{V_2}$ <p>Donde:</p> <p>$CaCO_3$ = concentración de carbonato de calcio en ppm (mg/L)</p> <p>V_1 = volumen consumido de EDTA (ml)</p> <p>M = molaridad exacta del EDTA</p> <p>V_2 = volumen de la muestra (ml)</p>



2.1.3.1.1. TÉCNICA PARA DUREZAS BAJAS:

Se usa para examinar aguas blandas de durezas baja (aguas naturales, dureza = 5 mg/L). Tome para titular 100-1000 mL de muestra y agregue cantidades mayores de Amortiguador, solución inhibidora e indicadora, el titulador se debe agregar lentamente con una microbureta y correr un testigo, usando agua destilada del mismo volumen que el de la muestra con idénticas cantidades de amortiguador inhibidora indicador.

CÁLCULOS:

Dureza (EDTA), $\frac{mg}{L}$ de:

$$[CaCO_3] = \frac{V_1 \times M \times 10^5}{V}$$

V_1 = Volumen gastado de EDTA

M = Molaridad exacta del EDTA

V = Volumen de la muestra en mL.

RECOMENDACIONES:

La porción alícuota de la muestra que se tome para la titulación debe consumir menos de 15 mL de titulador.

No debe exceder de los 5 minutos el período de titulación, estos contados a partir de la adición de la solución amortiguadora.

Para muchas aguas no es necesario usar un inhibidor, esto se debe hacer cuando se sospeche la presencia de iones interferentes, para de esta manera obtener un viraje de color claro y preciso.

2.1.3.2 CALCIO

Las sales de calcio y magnesio son la causa más frecuente de la dureza y afectan vitalmente las propiedades incrustantes o corrosivas de un agua.

Con frecuencia, las preferencias personales definen si se usa el método gravimétrico clásico o el titrimétrico del permanganato para la determinación exacta del calcio. El mayor tiempo que toma las manipulaciones gravimétricas puede restringir este método a muestras ocasionales y, por otro lado el método del permanganato se prefiere, con frecuencia, para la

determinación de un gran número de muestras simultáneas. La rapidez y simplicidad del método titulo métrico del EDTA lo hacen adecuado para aplicaciones rutinarias y de control.

Entonces, calcio se puede cuantificar directamente con EDTA, cuando; el pH se hace suficientemente alto para que la mayor parte del magnesio se precipite como Hidróxido y cuando se usa un indicador que solo se combine con el calcio. Se dispone de varios indicadores que dan vire da color cuando todo el Ca ha formado un complejo con EDTA a pH de 12-13.

2.1.3.2.1 PRINCIPIO

El método se basa en la determinación de los quelatos que se forma cuando el EDTA y sus sales de sodio forman quelatos solubles, cuando vienen agregados a una solución que contiene cationes polivalentes mediante complejación.

TÉCNICA

Se baso en el método 3500 Ca E.

PRECAUCIÓN: Cuando se usa murexida se debe comprobar el viré, agregando en exceso una o dos gotas del titulador, para asegurarse de que no ocurra un nuevo vire de color.

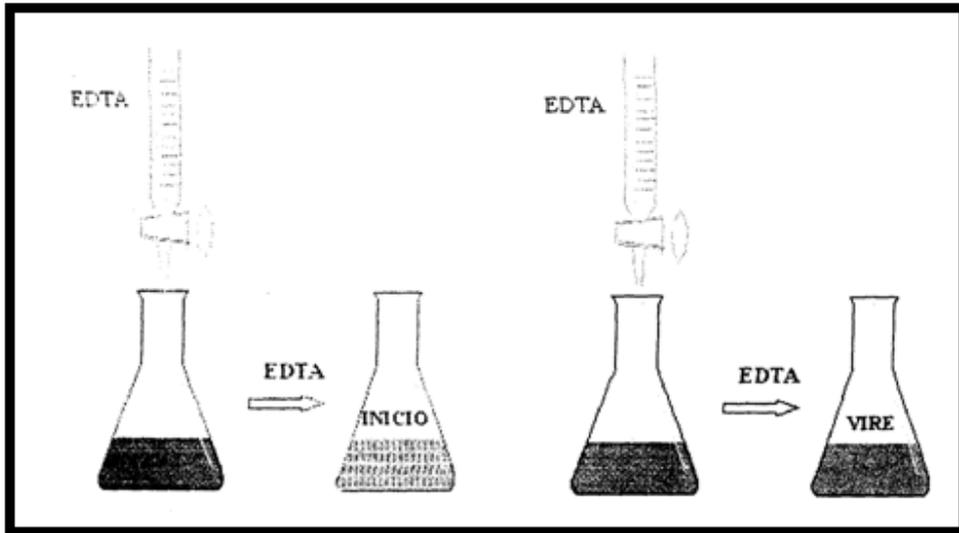
CÁLCULOS:

$$[Ca^{2+}] = \frac{V_2 \times M \times 4000}{V}$$

M = Molaridad exacta de EDTA

$V_2 = \text{Volumen de EDTA ml}$

$V = \text{Volumen de la muestra ml}$



2.1.3.3. MAGNESIO TÉCNICA

Se baso en el método 3500 Mg E.

Se presentan dos métodos para la determinación de magnesio, aplicables a todas las aguas naturales. El magnesio se puede determinar por el método gravimétrico sólo cuando se han eliminado previamente las sales del calcio, y por lo general, se aplica este método en el filtrado y lavados de la determinación Gravimétrica o al permanganato del calcio. Por el método fotométrico, el magnesio se determina directamente en la muestra en presencia de sales de calcio. Ambos métodos son aplicables a todas las concentraciones seleccionando porciones alícuotas adecuadas, dependiendo su selección de preferencias personales.

Pero en el laboratorio, el método más rápido y económico es cuantificar magnesio, por diferencia de pesos entre la dureza total y la del calcio.

$$[Mg^{2+}] = \frac{(V_2 - V_1) \times M \times 24300}{V}$$

2.2 DETERMINACIÓN DEI ANÁLISIS DEL MATERIAL ABLANDANTE

La resina iónica como medio ablandante se tiene que primero ver la composición física química de la misma.

2.2.1 ANÁLISIS FÍSICOS

2.2.1.1 pH

Permite determinar el grado de acidez o alcalinidad de los materiales ablandantes, el pH se define como el logaritmo negativo de la actividad del ión hidrógeno.

EQUIPO

- pHmetro

TÉCNICA

Se baso en el método 5120 Ay B

2.2.1.2 PESO ESPECÍFICO.

La determinación del peso específico de una muestra de medio granular puede realizarse en la siguiente forma

TÉCNICA

Se baso en el método 5255 C y B.

PROCEDIMIENTO

- Pesar cuidadosamente una muestra de 150 g y colocarla en un vaso de precipitación de 500 ml.
- Pesar un matraz desecado de 250 ml.
- Llevar la muestra a este matraz. Completar con agua destilada hasta la marca
- Pesar el agua más el matraz más la muestra de lecho filtrante.

CALCULOS:

$$S = \frac{\text{Peso de la muestra (150g)}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

El volumen de la muestra es igual a:

$$V_m = V_a - V_b$$

$$V_a = \text{Volumen de la muestra} + \text{agua} = 250 \text{ mL}$$

$$V_b = \text{Volumen de agua desplazada}$$

2.2.1.3 DENSIDAD REAL

La densidad real o peso específico de las partículas que forma el material ablandante es una función de las densidades de los constituyentes de estos ablandadores, depende principalmente de la proporción, de la materia orgánica e inorgánica presente. Se define como la masa (o peso) de una unidad de volumen de sólidos de los ablandantes.

PROCEDIMIENTO

- Pesar el picnómetro o matraz vacío
- Agregar 5 g de material ablandador al picnómetro y pesar nuevamente
- Aforar el picnómetro con agua destilada, cuidando que no existan burbujas de aire
- Realizar una nueva pesada
- Realizar los cálculos correspondientes

CÁLCULOS

Los cálculos se realizan aplicando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{P}{V_1 \times (P_1 - P_2)}$$

P = peso de la muestra

V_1 = Volumen del picnómetro en ml

P_1 = peso del Pícnómetro con la muestra del material ablandante y agua en g

P_2 = peso del pícnómetro con la muestra del material g

2.2.1.4 DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de la muestra del ablandador es la relación que existe entre el peso de la masa del ablandador y su volumen total.

CÁLCULOS

La determinación de la densidad aparente se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$D_{ap} = \frac{M}{V_D}$$

D_{ap} = Densidad aparente

M = peso de la muestra

$$V_D = V_2 - V_1$$

V_1 = volumen inicial

V_2 = volumen final

2.2.1.5 POROSIDAD

Evalúa el espacio poroso que presenta la muestra del ablandador. El espacio de los poros del material es la porción ocupada por aire y agua. La cantidad de este espacio viene determinada casi totalmente por la colocación de las partículas sólidas.

La porosidad del lecho filtrante debe determinarse de manera que sea indicativa de la que existe realmente en los filtros, Desgraciadamente, esta porosidad en la práctica no es constante, sino que cambia con la velocidad de lavado y con la de sedimentación de las partículas cuando se suspende el flujo ascensional. Se considera que varía entre 42- 44% para arena y entre 50-55% para antracita. Existen dos métodos para analizarla. El de Hulbert y Feben, y el de Baylis.

PROCEDIMIENTO

- Colocar 80 g de arena en un tubo de 0.75 cm de largo, 2.8 cm de diámetro y llenarlo hasta la mitad con agua. La muestra debe haberse lavado previamente para eliminar toda la tierra o el polvo que puede contener.
- Agitar a fin de extraer el aire.
- Si el agua está turbia, decantar repetidamente hasta que se clarifique.
- Llenar el tubo completamente con agua y colocarle un tapón de goma de modo que no quede burbujas de aire adentro.
- Rotar el tubo rápidamente 180°.

- Cuando el material ablandador se sedimente en el fondo del tubo, rotarlo de nuevo rápidamente 180° y colocarlo en un soporte a fin de que permanezca verticalmente y sin perturbaciones.
- Marcar en el tubo, con un lápiz el borde superior de la arena.
- Remover la arena y el agua del tubo.
- Añadir agua hasta la marca que se hizo en el tubo y medir este volumen en un cilindro graduado.

CÁLCULOS

La porosidad en porcentaje será igual a:

$$P = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen del muestra}} \times 100$$

El volumen de vacíos puede hallarse por la diferencia entre el volumen medido en el cilindro graduado (Volumen total) menos el volumen de la muestra (peso de la muestra, 80 g por su peso específico).

Otra manera para determinar el porcentaje de porosidad del ablandador se aplica la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{D_R - D_{AP}}{D_R} \times 100$$

$D_R = \text{densidad real}$

$D_{AP} = \text{densidad aparente}$

$s = \text{porosidad}$

2.2.1.6 GRANULOMETRÍA

Con la granulometría se obtiene una clasificación homogénea de los ablandadores para realizar la curva granulométrica. Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

Para partículas con tamaño de partículas mayor a 0,074 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración indicado. Para suelos de tamaño inferior, se utiliza el método del hidrómetro, basado en la ley de Stokes.

TÉCNICA

Se baso en el método de granulometría con la serie de Taylor

PROCEDIMIENTO

- Homogenizar cuidadosamente el total de la muestra en estado natural

- Se reduce por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la mínima recomendada.
- Armar y colocar la serie de tamices
- Colocar la muestra del ablandador en el tamiz y dejarlo por 15 min.
- Retirar del tamizador y pesar cada tamiz con la muestra
- Realizar los cálculos respectivos
- Elaborar la Curva granulométrica
- Expresar los valores de D 10, D 30, D 60

CÁLCULOS

- Retenido Acumulado (g) = Σ Retenido
- Acumulado que pasa (g) = $300 - \Sigma$ Retenido

$$\% \text{ Que pasa acumulado por Tamiz} = \frac{\Sigma \text{ Retenido}}{300} \times 100$$

2.2.1.7 RESISTENCIA AL ÁCIDO Y A LA BASE

Conocer la resistencia que tiene el material ablandador en presencia de HCl_1 y NaOH .

Se expresa como la pérdida del material ablandador al contacto con los ácidos y bases fuertes evaluadas en mg/L.

TÉCNICA

Se baso en el método 2510 B.

PROCEDIMIENTO:

- Lavar una muestra de 10 gr con agua destilada, desecarla a $103^{\circ}C$ durante 24 horas y pesarla.
- Sumergirla en una solución de ácido clorhídrico al 40% (al volumen) preparado diluyendo 4 volúmenes de HCl (peso específico 1.18) con 10 volúmenes de agua destilada.
- Dejar la muestra así durante 24 horas a temperatura de 18 a $20^{\circ}C$
- Sacarla, lavar en agua destilada, desecar y pesarla de nuevo

CÁLCULOS

Los cálculos se realizan aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso original}} \times 100$$

2.3 ENSAYOS DE INTERCAMBIO EN COLUMNA

2.3.1 PARA CONCENTRACIONES DE CARBONATO DE CALCIO Y MAGNESIO

Para determinar si el material ablandador tiene la capacidad de intercambiar iones se realizaron ensayos en columnas de 60.0 cm. de longitud y de 2 cm. de diámetro.

- Se prepararon soluciones de CaCO_3 de concentraciones de 0.5, 0.1, 0.05, 0.01 %
- Cada solución se la coloco en distintas cantidades de material ablandador que van desde 5, 15, 25, 35 g
- Para determinar el tiempo de retención se dejo desde 5 hasta 24 horas, tanto con agitación y sin agitación
- Finalmente se realizaron los análisis respectivo con el EDTA. Para ver en cuanto es capaz la ablandadores de intercambiar el ión Ca_2^+

2.3.2 PARA EL AGUA A SER TRATADA

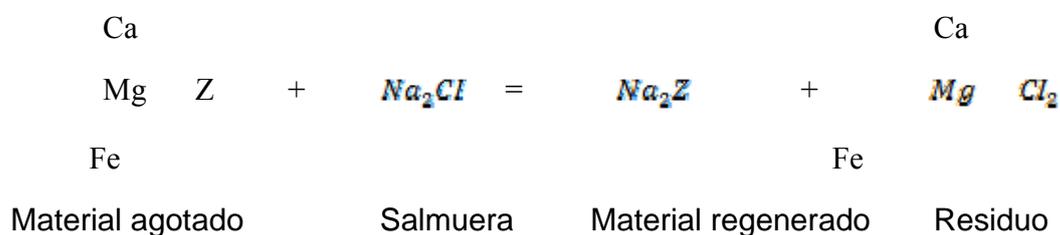
Para establecer la capacidad de intercambio en columna se tuvieron que realizar varias pruebas en las cuales: Se utilizaron columnas de vidrio de 60 cm. de longitud por 2,0 cm. de diámetro

- Se mantuvo constante el volumen y se vario la cantidad de material ablandador.

- Las columnas se empacaron con 5.0, 15.0, 25.0, 35.0, g de ablandador y se alimentaron por gravedad con el agua de la llave a tratarse.
- Se recogieron los efluentes de las columnas para determinar la concentración de la dureza y establecer las curvas de concentración de la misma.
- Se mantuvo constante la cantidad del ablandador, el volumen de alimentación y se vario el tiempo de permanencia
- Se mantuvo constante la cantidad del ablandador pero hubo variación en el volumen de alimentación.

2.4 REGENERACIÓN DEL MATERIAL ABLANDADOR

Los ensayos para estudiar tanto la regeneración del intercambiador como la eliminación de la dureza, se llevaron a cabo con el ablandador, alimentándola en contracorriente con solución al 3% de $NaCl$ al mismo flujo que en el proceso anterior. Se analizó la concentración de la dureza, en muestras tomadas cada 5 minutos.



CAPITULO III

CÁLCULOS

3.1 DATOS EXPERIMENTALES DEL AGUA

3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA DUREZA

Dureza (EDTA), mg/L de:

$$[CaCO_2] = \frac{V_f \times M \times 10^5}{V}$$

V_f = Volumen gastado de EDTA

M = Molaridad exacta del EDTA

V = Volumen de la muestra en mL.

3.1.1.1 Para el agua antes del tratamiento

$$[CaCO_2] = \frac{7.3 \times 0.02 \times 10^5}{25} = 584 \text{ mg/L}$$

3.1.1.2 Para el agua después del tratamiento

$$[CaCO_2] = \frac{3.5 \times 0.02 \times 10^5}{25} = 280 \text{ mg/L}$$

TABLA N° 1
DETERMINACION DE LA DUREZA

MUESTRAS	ANTES DEL TRATAMIENTO (mg/L)	DHA	DESPUES DEL TRATAMIENTO (mg/L)	DHA
1	586	32.8	280	15.68
2	586	32.7	279	15.62
3	586	32.76	278	15.56
4	586	32.7	280	15.68

Elaborado por: Javier Martínez

Lugar: Laboratorio de F. Ciencias

Marcelo Idrobo

Fecha: 18/03/2011

Muestras tomada por semana.

3.1.1 DETERMINACIÓN DEL CALCIO

$$[Ca^{2+}] = \frac{V_2 \times M \times 4000}{V}$$

M = Molaridad exacta del EDTA

V₂ = Volumen de EDTA mL

V = Volumen de la muestra mL.

3.1.2.1 Para el agua antes del tratamiento

$$[Ca^{2+}] = \frac{155 \times 0.02 \times 4000}{25} = 496 \text{ mg/L}$$

3.1.2.2 Para el agua después del tratamiento

$$[Ca^{2+}] = \frac{62.5 \times 0.02 \times 4000}{25} = 200 \text{ mg/L}$$

TABLA N° 2
DETERMINACION DEL CALCIO

MUESTRAS	ANTES DEL TRATAMIENTO (mg/L)	DHA	DESPUES DEL TRATAMIENTO (mg/L)	DHA
1	496	27.20	200	11.20
2	496	27.80	198	11.00
3	496	27.70	200	11.20
4	496	27.70	199	11.10

Elaborado por: Javier Martínez

Lugar: Laboratorio de F. Ciencias

Marcelo Idrbo

Fecha: 18/01/2012

3.1.3 DETERMINACIÓN DEL MAGNESIO

$$[Mg^{2+}] = \text{Dureza total} - [Ca^{2+}]$$

3.1.3.1 Para el agua antes del tratamiento

$$[Mg^{2+}] = \frac{584mg}{L} - \frac{496}{L} = \frac{88mg}{L}$$

3.1.3.2 Para el agua después del tratamiento

$$[Mg^{2+}] = L - \frac{200mg}{L} = \frac{80mg}{L}$$

TABLA N° 3

DETERMINACION DEL MAGNESIO

MUESTRAS	ANTES DEL TRATAMIENTO	DHA	DESPUES DEL TRATAMIENTO	DHA
1	88	5.60	80	4.40
2	86	5.20	79	4.40
3	88	5.60	78	4.30
4	86	5.20	80	4.40

Elaborado por: Javier Martínez

Lugar: Laboratorio de F. Ciencias

Marcelo Idrobo

Fecha: 18/01/2012

3.2 DETERMINACIÓN DEL ABLANDADOR

3.2.1 PESO ESPECÍFICO

$$S = \frac{\text{Pesodela muestra (150g)}}{\text{Volumendelamuestra}}$$

El volumen de la muestra es igual a:

$$V_m = V_a - V_b$$

$$V_a = \text{Volumen de la muestra} + \text{agua} = 250 \text{ mL}$$

$$V_b = \text{Volumen de agua desplazada}$$

CÁLCULO

$$\text{Peso del matraz} + \text{muestra} + \text{agua} = 427.23 \text{ g}$$

$$\text{Peso del matraz desecado} = 114.76 \text{ g}$$

$$\text{Peso de la muestra} + \text{agua} = 427.23 - 114.76 = 312.47 \text{ g}$$

$$\text{Volumen del agua} = 312.47 - 150 = 162.47$$

$$\text{Volumen de la muestra} = 250 - 162.47 = 87.53$$

$$\text{Peso específico} = \frac{150}{87.53} = 1.71$$

3.2.2 DENSIDAD REAL

CÁLCULOS

Los cálculos se realizan aplicando la siguiente fórmula:

$$Dr = \frac{P}{V_I - (P_1 - P_2)}$$

Donde:

P = peso de la muestra

V_I = volumen del picnometro en ml.

P₁ = peso del picnometro con la muestra del ablandador y agua en gr.

P₂ = peso del picnometro con la muestra del ablandador en gr.

$$Dr = \frac{5g}{25 - (52.01 - 29.34)} = 2.146g/cm^3$$

3.2.3 DENSIDAD APARENTE

CÁLCULOS

La determinación de la densidad aparente se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$Dap = \frac{M}{V_D}$$

M = peso de la muestra

$$V_D = V_2 - V_1$$

$V_1 = \text{volumen inicial}$

$V_2 = \text{volumen final}$

$$D_{ap} = \frac{20.01}{27.3} = 0.733 \text{ g/cm}^3$$

3.2.4 POROSIDAD

CÁLCULOS

La porosidad en porcentaje será igual a:

$$P = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen de la muestra}} \times 100$$

El volumen de vacíos puede hallarse por la diferencia entre el volumen medido en el cilindro graduado (Volumen total) menos el volumen de la muestra (peso de la muestra, 80 gr por su peso específico).

- $\text{Volumen total hasta la marcha hecha en el tubo} = 71 \text{ mL}$
- $\text{Peso de la muestra} = 80 \text{ g}$
- $\text{Peso específico de la muestra} = 1.71$
- $\text{Volumen de la muestra} = \frac{80}{1.71} = 46.78 \text{ mL}$

- *Volumen de vacíos* = $71 - 46.78 = 24.22 \text{ mL}$
- *Porosidad* = $\frac{24.22}{71} \times 100 = 34.11\%$

Otra manera para determinar el porcentaje de porosidad del ablandador se aplica la siguiente fórmula:

$$s = \frac{D_R - D_{AP}}{D_R} \times 100$$

D_R = densidad real

D_{AP} = densidad aparente

s = porosidad

$$s = \frac{0.733}{2.146} \times 100 = 34.15\%$$

3.2.5 GRANULOMETRÍA

- *Retenido Acumulado (g)* = Σ Retenido
- *Acumulado que pasa (g)* = $300 - \Sigma$ Retenido
- *% Que pasa acumulado por Tamiz* = $\frac{\Sigma \text{ Retenido}}{300} \times 100$

3.2.5.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA RESINA PARA 300g

TABLA N° 4

Tamiz serie Taylor	Tamaño de abertura (mm) pulgada		Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	Acumulado que pasa (g)	% Que pasa acumulado por Tamiz
14	1.40	0.0555	0.77	0.77	299.23	99.74
20	8.50	0.0331	25.62	26.39	273.61	91.20
40	4.25	0.0165	80.5	106.89	193.11	64.37
50	300	0.01107	54.29	161.18	138.82	46.27
70	212	0.0083	110.68	271.86	28.74	9.58
80	< 212	0.0070	28.14	300	0	0

Elaborado por: Javier Martínez

Lugar: Laboratorio de F. Ciencias

Marcelo Idrobo

Fecha: 18/01/2012

- **Tamaño Efectivo D10 = 0.875**
- **Coefficiente de Uniformidad = $\frac{D60}{D10} = \frac{1.4}{0.875} = 1.6$**
- **Coefficiente de curvatura = $\frac{(D30)^2}{D60 \times D10} = 0.816$**

3.2.6 RESISTENCIA AL ÁCIDO Y A LA BASE DEL MATERIAL ABLANDANTE (RESINA DE INTERCAMBIO IONICO)

Los cálculos se realizan aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso original}} \times 100$$

3.2.6.1 SOLUBILIDAD DEL ÁCIDO

$$\text{Solubilidad del ácido} = \frac{89.39 - 86.44}{89.59} \times 100 = 3.51\%$$

3.2.6.2 SOLUBILIDAD DE LA BASE

$$\text{Solubilidad de la base} = \frac{93.74 - 93.20}{93.74} \times 100 = 0.57\%$$

3.2.7 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE AGOTAMIENTO DEL MATERIAL ABLANDANTE (RESINA DE INTERCAMBIO IONICO)

En base a las isothermas encontradas experimentalmente se puede llegar a obtener el siguiente:

Cuando $C_e = 1.0$; $(x/m) = 4.1$ por lo tanto $K_f = 4.1$ y cuando $(x/m) = 14$; $C_e = 560$;

Calcular $\frac{1}{n} = ?$ para obtener la Ecuación que gobierna a este fenómeno:

$$\text{Log}(x/m) = \log k_f + 1/n \log C_e$$

$$1.146 - 0.61 = 1/n(2.75)$$

$$1/n = 0.19$$

$$t_r = \frac{\left(\frac{x}{m}\right)_r M_c}{Q \left[C_i - \left(\frac{C_r}{2}\right) \right]}$$

Ecuación de la absorción es $(x/m) = 4.1(C_e)^{0.19}$

$$\left(\frac{x}{m}\right)_0 = 4.1 \left(584 \frac{mg}{l} \right)^{0.19} = 13.75$$

$$\left(\frac{x}{m}\right)_r = 35 \left(\frac{x}{m}\right)_0 = 481.25 \text{ mg/mg}$$

$$M_c = 1.5 \text{ m} * 0.20 \text{ m}^2 * 2140 \frac{kg}{m^3} = 642 \text{ kg}$$

$$Q = 8.63 \text{ m}^3/d$$

$$t_r = \frac{\left(481.25 \frac{mg}{mg} \right) \left(642 \text{ kg} * \frac{1000g}{kg} \right)}{\left(\frac{8.63 \text{ m}^3}{d} \right) \left[\frac{584 \text{ mg}}{l} - \frac{280 \text{ mg}}{2} \right]} = 80.63d = 81 \text{ días}$$

3.3 CÁLCULOS PARA LAS COLUMNAS EN EL LABORATORIO

3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS COLUMNAS DE FILTRACIÓN

3.3.1.1 Cálculo del caudal

$$Q_{caudal} = \frac{\text{Volumen a pasar}}{\text{tiempo que se demora}}$$

$$Q_{caudal} = \frac{100\text{mL}}{43\text{seg}} = 2.32 \frac{\text{ml}}{\text{seg}} = 0.20088\text{m}^3/\text{día}$$

3.3.1.2 Cálculo de la tasa media de filtración

$$Tasa\ media\ de\ filtracion = \frac{Q_{caudal}}{area\ fltrante}$$

$$Tasa\ media\ de\ filtracion = \frac{0.20088\text{m}^3/\text{día}}{0.02356\text{m}^2} = \frac{8.52\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{día}}$$

3.3.1.3 Cálculo del área total de filtración

$$Area\ total = \frac{Q_{caudal}}{taza\ media\ de\ filtracion}$$

$$Area\ total = \frac{0.20088\text{m}^3/\text{día}}{8.52\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}} = 0.02356\text{m}^2$$

3.3.1.4 Número de filtros: 2

3.3.1.5 Cálculo del área por filtro

$$Area\ de\ filtro = \frac{Area\ total}{numero\ de\ filtros}$$

$$Area\ del\ filtro = \frac{0.02356\text{m}^2}{2} = 0.01178\text{m}^2$$

Ancho por compartimento o área = 0.02 m

3.3.1.6 Cálculo de la longitud del filtro

$$\text{longitud del filtro} = \frac{\text{Area del filtro}}{\text{ancho por compartimento}}$$

$$\text{longitud del filtro} = \frac{0.01178\text{m}^2}{0.02\text{m}} = 0.589\text{m} = 58.9 \text{ cm}$$

3.3.1.7 Cálculo de la pérdida de carga producida por el lecho

$$h = (1 - \text{porosidad})(\text{peso específico} - 1) \times H \text{ altura del lecho}$$

$$h = (1 - 0.3411)(1.71 - 1) \times 0.15\text{m} = 0.070$$

3.3.2 DISEÑO DEL ABLANDADOR

3.3.2.1 Cálculo del caudal

$$Q_{\text{caudal}} = \frac{\text{Volumen a pasar}}{\text{tiempo que se demora}}$$

$$Q_{\text{caudal}} = \frac{100\text{mL}}{1\text{seg}} = \frac{86400\text{seg}}{1 \text{ día}} \times \frac{1\text{m}^3}{1000000\text{mL}} = 8.63\text{m}^3 / \text{ día}$$

3.3.2.2 Cálculo de la taza media de filtración

$$\text{Taza media de filtracion} = \frac{Q_{\text{caudal}}}{\text{area filtrante}}$$

$$\text{Taza media de filtracion} = \frac{8.63\text{m}^3 / \text{ día}}{7.853\text{m}^2} = 1.098\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{ día}$$

3.3.2.3 Cálculo del área total de filtración

$$\text{Area total} = \frac{Q_{\text{caudal}}}{\text{taza media de filtracion}}$$

$$\text{Area total} = \frac{8.63\text{m}^3/\text{día}}{1.298\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}} = 0.853\text{m}^2$$

3.3.2.4 Número de filtros: 1

3.3.2.5 Cálculo del área por filtro

$$\text{Area del filtro} = \frac{\text{Area total}}{\text{numeros de filtros}}$$

$$\text{Area del filtro} = \frac{0.853\text{m}^2}{1} = 0.853\text{m}^2$$

$$\text{Ancho por compartimiento o área} = 0.4 \text{ m}$$

3.3.2.6 Cálculo de la longitud del filtro

$$\text{Longitud del filtro} = \frac{\text{Area del filtro}}{\text{ancho por compartimiento}}$$

$$\text{Longitud del filtro} = \frac{3.926\text{m}^2}{0.4\text{m}} = 1.648\text{m}$$

3.3.2.6 Cálculo de la pérdida de carga producida por el lecho en el ablandador

$$h = (1 - \text{porosidad})(\text{peso específico}) \times H \text{ altura de lecho}$$

$$h = (1 - 0.3411)(1.71 - 1) \times 1\text{m} = 0.47$$

3.3.2.7 Cálculo de la longitud del ablandador en base a las Concentraciones iniciales y finales de la dureza del agua.

$$HL = \frac{(0.48 \times h \text{ del lecho})}{\log \frac{C_o}{C_e}}$$

HL = Longitud del filtro

C_o = Concentración inicial de la dureza del agua

C_e = Concentración final de la dureza del agua después del tratamiento

h = altura del lecho

$$HL = \frac{0.48 \times 1.5m}{\log \frac{584}{280}} = 1.502m$$

3.3.2.8 Cálculo del tiempo y el volumen de la solución de lavado para el ablandador

3.3.2.8.1 Calculo de la velocidad por el área

$$v = \frac{h \text{ de lecho}}{\text{tiempo de referencia}} = \frac{1.5m}{0.25h} = 4m/h$$

3.3.2.9.2 Calculo de q

$$q = v \times A$$

$$q = 4m/h \times 3.926m^2 = 5.78 m^3/h$$

3.3.2.9.3 Cálculo del tiempo de lavado

$$2.203 \times \frac{L}{kxq} = \frac{t}{\log C_o - \log C}$$

$$2.203 \times \frac{1.5}{0.30 \times 15.7} = \frac{t}{\log 584 - \log 280}$$

$$t = 0.52h$$

3.3.2.9.4 Cálculo del Volumen de Lavado

$$V1 = q \times t$$

$$V1 = \frac{15.701}{h} \times 0.32 h = 835 L$$

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA

4.1.1 ANÁLISIS DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO

TABLA N° 5

	UNIDADES	RESULTADOS
Ph	Unid	8.7
Temperatura	°C	18
Conductividad	μS	940
Turbidez	UNT	0.9
Dureza	mg/l	808
Calcio	mg/l	115
Magnesio	mg/L	126

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.1.2 ANÁLISIS DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

TABLA N° 6

	UNIDADES	RESULTADOS
Ph	Unid	7.50
Temperatura	°C	18
Conductividad	μS	350
Turbidez	UNT	0.47
Dureza	mg/l	125
Calcio	mg/l	50
Magnesio	mg/L	20

Elaborado por: Javier Martínez

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias

4.2 ANÁLISIS DE LA RESINA ANTES DEL TRATAMIENTO

TABLA N° 7

	UNIDADES	RESULTADOS
Ph	Unid	8.36
Conductividad	μS	2000
Turbiedad	UNT	111
Densidad Real	g/cm^3	2.146
Densidad Aparente	g/cm^3	0.73
Porosidad	%	34.15
Resistencia al Acido	%	3.51
Resistencia a la Base	%	0.57

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.2.1 ANÁLISIS QUÍMICOS ANTES DEL TRATAMIENTO

TABLA N° 8

PARAMETROS QUIMICOS	UNIDADES	CANTIDAD
Pérdida por Calcinación PxC	%	15.97
Oxido de Silice SiO_2	%	57.84
Oxido de Hierro Fe_2O_3	%	0.95
Oxido de Aluminio Al_2O_3	%	7.55
Oxido de Calcio CaO	%	1.81
Oxido de Magnesio MgO	%	0.37
Oxido de Potasio K_2O	%	3.66
Oxido de sodio Na_2O	%	7.50
Trióxido de Azufre SO_3	%	0.62

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA RESINA ANTES DEL TRATAMIENTO PARA 300g

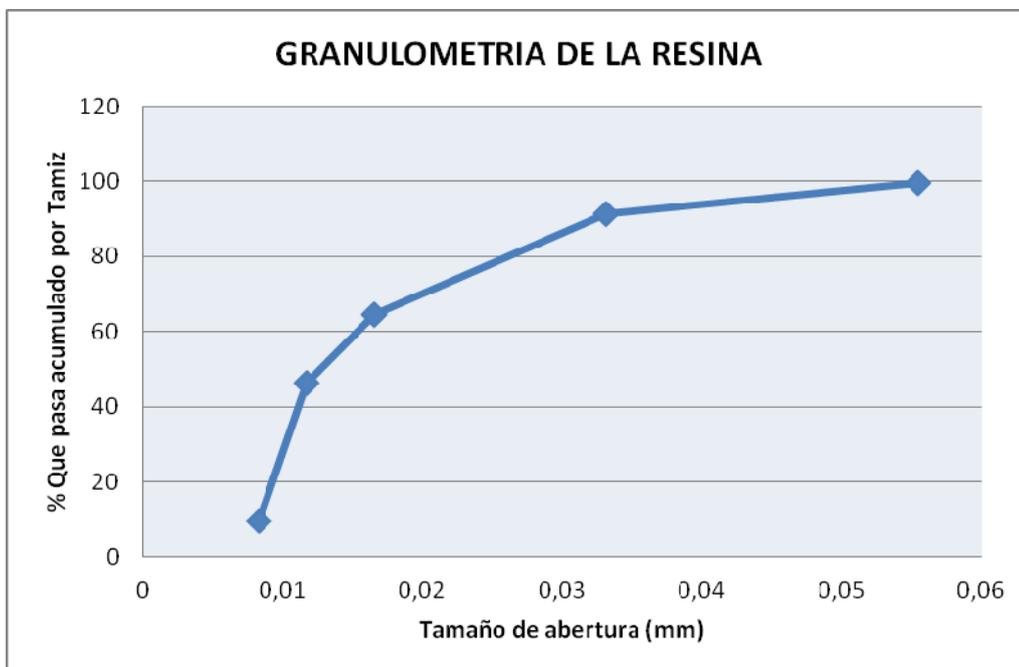
TABLA N° 9

Tamiz serie Taylor	Tamaño de abertura (mm)		Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	Acumulado que pasa (g)	% Que pasa acumulado por Tamiz
14	1,40	0,06	0,77	0,77	299,23	99,74
20	8.50	0,03	25,62	26,39	273,61	91,20
40	4,25	0,02	80,50	106,89	193,11	64,37
50	300	0,01	54,29	161,18	138,82	46,27
70	212	0,01	110,68	271,86	28,14	9,58
80	<212	0,01	28,14	300	0	0

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N° 1



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°9

Tamaño Efectivo D 10 = 0.875

$$\text{Coeficiente de Uniformidad} = \frac{D60}{D10} = \frac{1.4}{0.875} = 1.6$$

$$\text{Coeficiente de Curvatura} = \frac{(D30)^2}{D60 \times D10} = 0.816$$

4.3 ENSAYOS DE INTERCAMBIO EN COLUMNA

4.3.1 PARA EL CARBONATO DE CALCIO

4.3.1.1 Para 0.5 g de CaCO_3

TABLA N° 10

Cantidad de resina (gramos)		Tiempo de permanencia (minutos)	Cantidad de agua recogida (ml)	Altura del lecho (cm)		
5		5	95	2		
15		5	90	5		
25		5	83	9		
35		5	73	12		
Cantidad de resina	pH	Conductividad	EDTA consumido	Dureza mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
0	8.00	770	23	1840	1763	77
5	8.08	790	6.1	488	413	75
15	8.01	790	5.8	464	391	73
25	8.02	790	4.7	376	306	70
35	8.00	790	3.8	304	240	64

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.3.1.1.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL

TABLA N° 11.

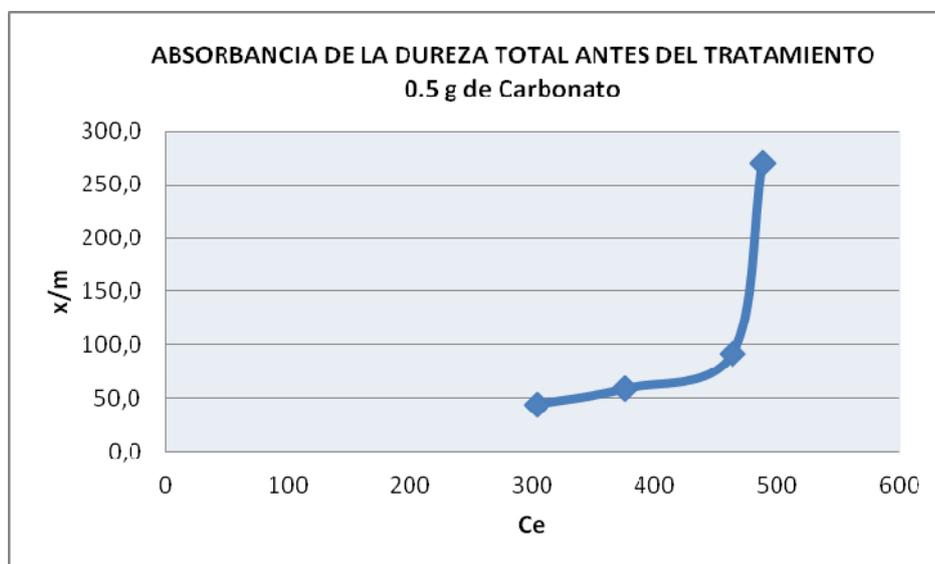
ABSORBANCIA DE LA DUREZA TOTAL ANTES DEL TRATAMIENTO 0.5g DE CARBONATO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
1840	1840	0	0	0	0
1840	488	1352	5	270.40	1.80
1840	464	1376	15	91.70	5.06
1840	376	1464	25	58.60	6.42
1840	304	1536	35	43.90	6.93

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N° 2



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°11

4.3.1.1.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO

TABLA N° 12

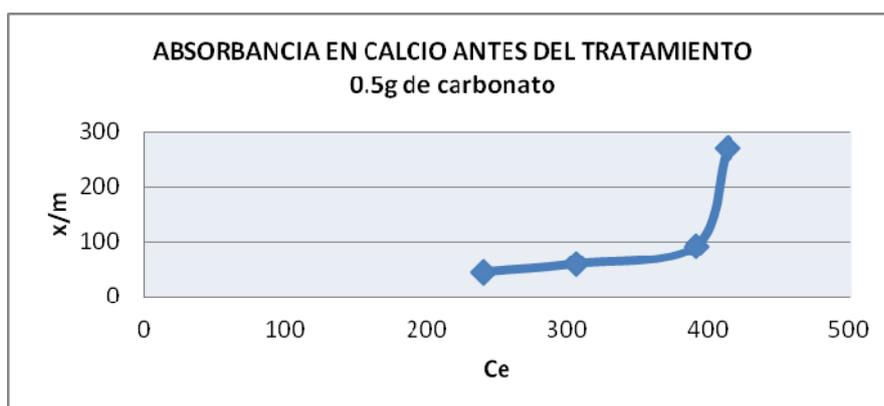
ABSORBANCIA EN CALCIO ANTES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	$(Co - Ce) X$	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
1763	1763	0	0	0	0
1763	413	1350	5	270	1.50
1763	391	1372	15	91.50	4.30
1763	306	1457	25	58.30	5.30
1763	240	1523	35	43.50	5.50

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRÁFICO N° 3



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°12

4.3.1.1.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO

TABLA N° 13.

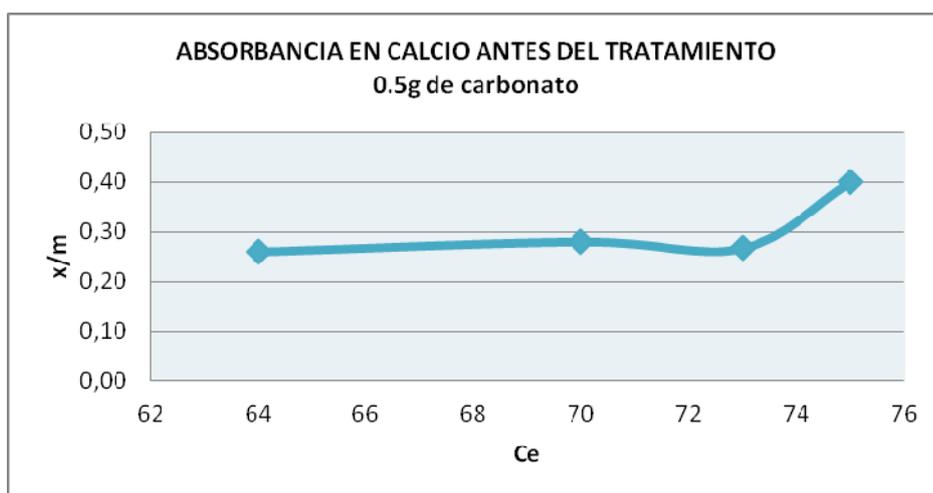
ABSORBANCIA EN MAGNESIO ANTES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
77	77	0	0	0	0
77	75	2	5	0.40	172.90
77	73	4	15	0.27	250
77	70	7	25	0.28	280.70
77	64	13	35	0.26	300

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N° 4.



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°13

4.3.1.2 Para 0.1 g de CaCO_3 después del tratamiento

TABLA N° 14

Cantidad de resina (gramos)	Tiempo de permanencia (minutos)	Cantidad de agua recogida (ml)	Altura del lecho (cm)
5	5	95	2.00
15	5	90	5.50
25	5	83	9.50
35	5	73	12.00

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencia
Fecha: 18/01/2012

TABLA N° 15

Cantidad de resina	pH	Conductividad	EDTA consumido	Dureza mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
0	8.00	770	9.00	720	667	53
5	8.08	790	7.60	608	558	50
15	8.01	790	5.80	460	412	48
25	8.02	790	4.30	340	297	43
35	8.00	790	2.90	232	192	40

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.3.1.2.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL

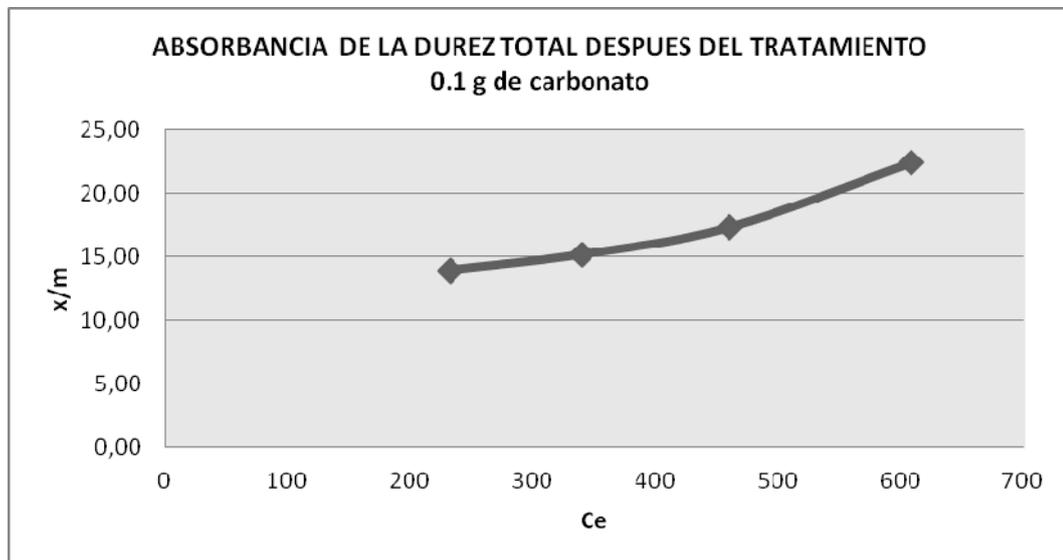
TABLA N° 16

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
720	720	0	0	0	0
720	608	112	5	22.40	27.10
720	460	260	15	17.33	26.50
720	340	380	25	15.20	22.40
720	232	488	35	13.94	16.60

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°. 5



Elaborado por: Javier Martínez

Fuente: Tabla N°16

4.3.1.2.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO

TABLA N° 17

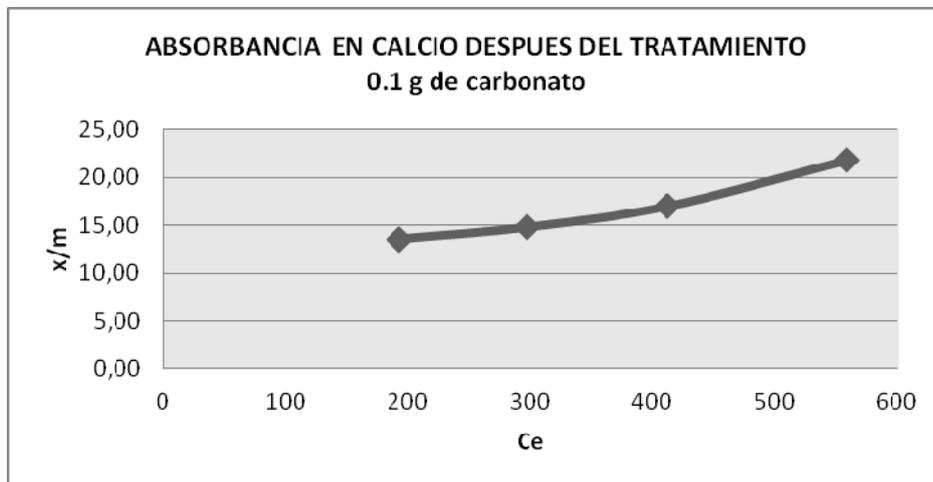
ABSORBANCIA EN CALCIO DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
667	667	0	0	0	0
667	558	109	5	21.80	26
667	412	255	15	17.00	24
667	297	370	25	14.80	20
667	192	475	35	13.57	14

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRÁFICO N° 6



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°17

4.3.1.2.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO

TABLA N° 18

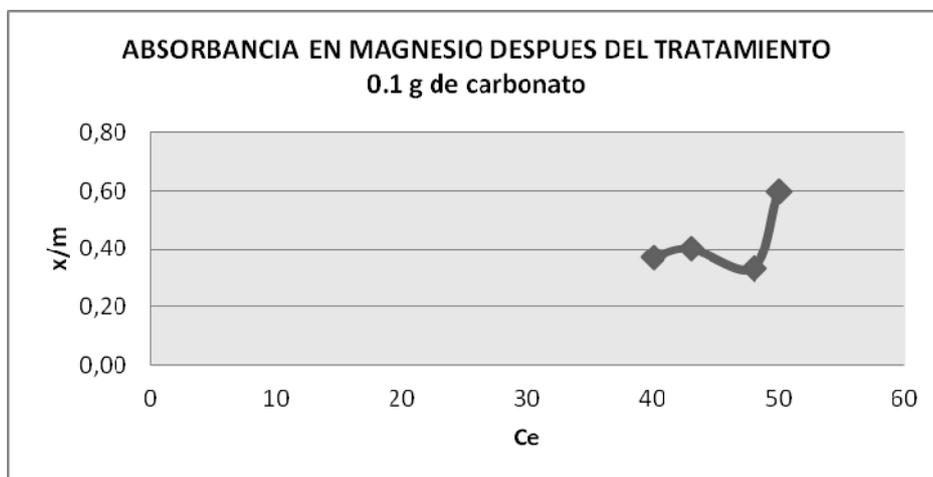
ABSORVANCIA DE MAGNESIO DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
53	53	0	0	0	0
53	50	3	5	0.60	83
53	48	5	15	0.33	144
53	43	10	25	0.40	108
53	40	13	35	0.37	108

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Cienci
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N° 7



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°18

4.3.1.3 Para 0.05 de CaCO_3

TABLA N° 19

Cantidad de resina (gramos)	Tiempo de permanencia (minutos)	Cantidad de agua recogida (ml)	Altura del lecho (cm)
5	5	97	2.00
15	5	95	5.50
25	5	85	9.50
35	5	79	12.00

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

TABLA N° 20

Cantidad de resina	pH	Conductividad	EDTA consumido	Dureza mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
0	7.99	800	6.9	552	467	85
5	8.00	790	6.4	512	430	82
15	8.00	790	5.8	464	384	80
25	8.02	800	5.3	424	344	80
35	8	800	4.9	392	312	80

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.3.1.3.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL

TABLA N° 21

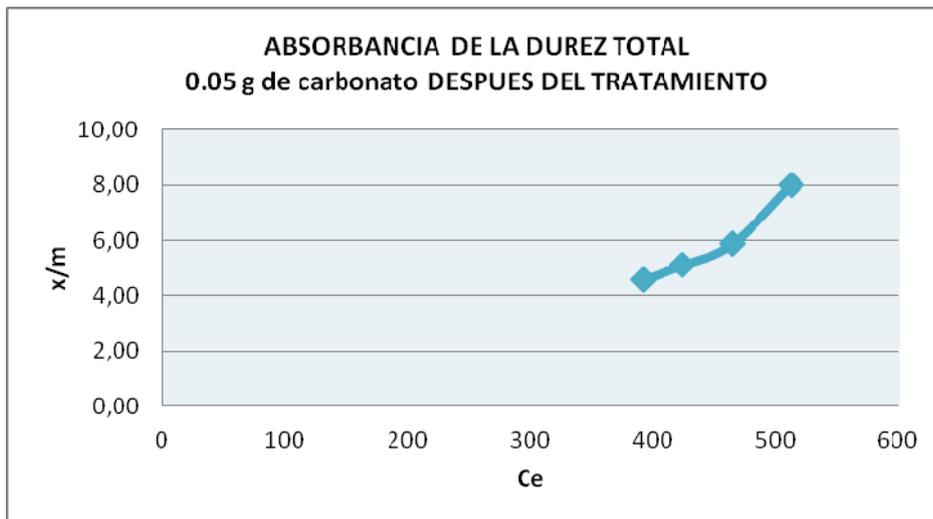
ABSORBANCIA DUREZA TOTAL EN 0.05 g DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
552	552	0	0	0	0
552	512	40	5	8.00	64.00
552	464	88	15	5.87	79.10
552	424	128	25	5.12	82.80
552	392	160	35	4.57	85.80

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N° 8



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°21

4.3.1.3.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO

TABLA N° 22

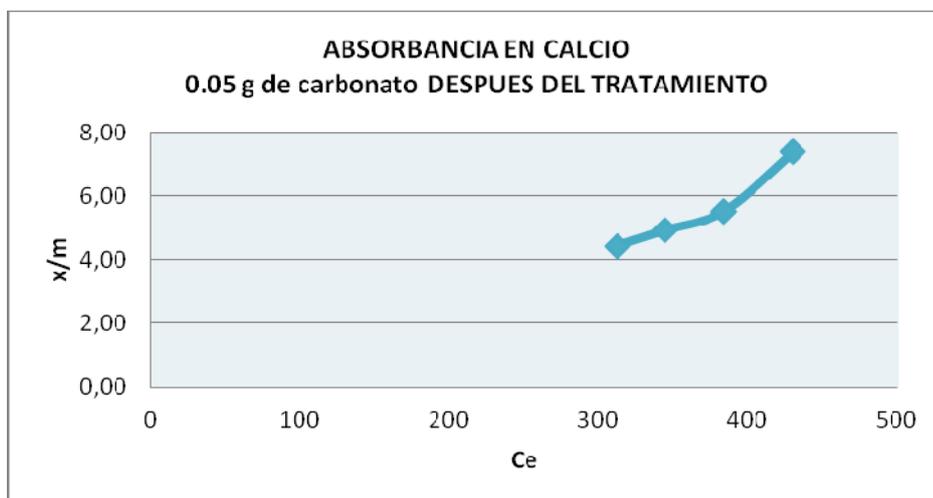
ABSORVANCIA EN CALCIO EN 0.05 g DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
467	467	0	0	0	0
467	430	37	5	7.40	58.10
467	384	83	15	5.53	69.40
467	344	123	25	4.92	69.90
467	312	155	35	4.43	70.50

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N° 9



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°22

4.3.1.3.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO

TABLA N° 23

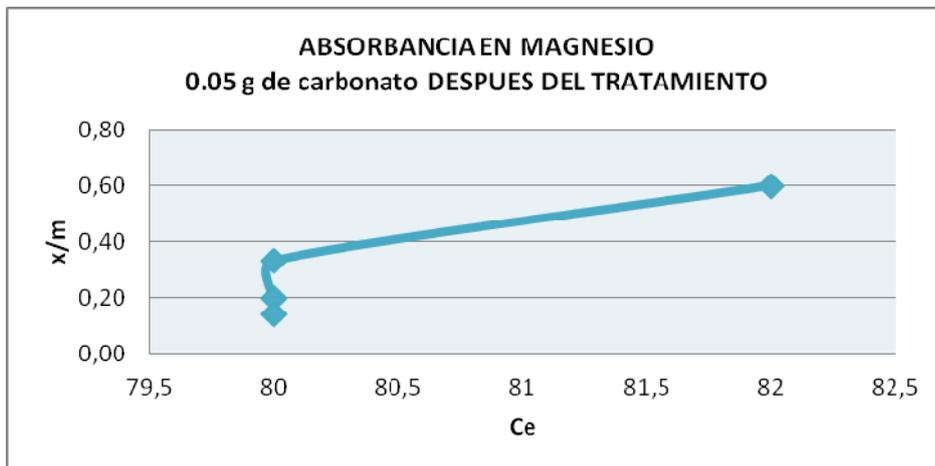
ABSORVANCIA EN MAGNESIO EN 0.05 g DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
85	85	0	0	0	0
85	82	3	5	0.60	136.70
85	80	5	15	0.33	240.00
85	80	5	25	0.20	400.00
85	80	5	35	0.14	560.00

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°10



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°23

4.3.1.4 Para 0.01 g de CaCO_3

TABLA N° 24

Cantidad de resina (gramos)	Tiempo de permanencia (minutos)	Cantidad de agua recogida (ml)	Altura del lecho (cm)
5	5	96	2.00
15	5	88	5.50
25	5	78	9.50
35	5	75	12.00

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

TABLA N° 25

Cantidad de resina	pH	Conductividad	EDTA consumido	Dureza mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
0	8.00	800	2.90	224	184	40
5	8.00	800	2.50	200	160	40
15	8.01	800	2.00	132	93	39
25	8.02	801	1.50	120	81	39
35	8.00	800	1.00	80	42	38

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.3.1.4.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL

TABLA N° 26

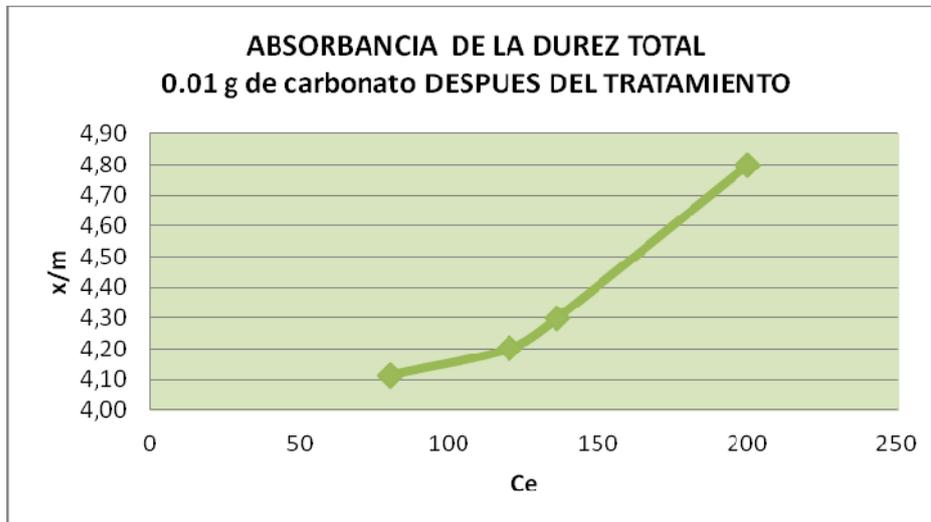
ABSORVANCIA DUREZA TOTAL EN 0.01 g DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	$(Co - Ce) X$	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
224	224	0	0	0	0
224	200	24	5	4.80	19.50
224	136	88	15	4.30	28.60
224	120	104	25	4.20	31.60
224	80	144	35	4.11	41.70

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°10



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°26

4.3.1.4.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCLA EN CALCIO

TABLA N° 27

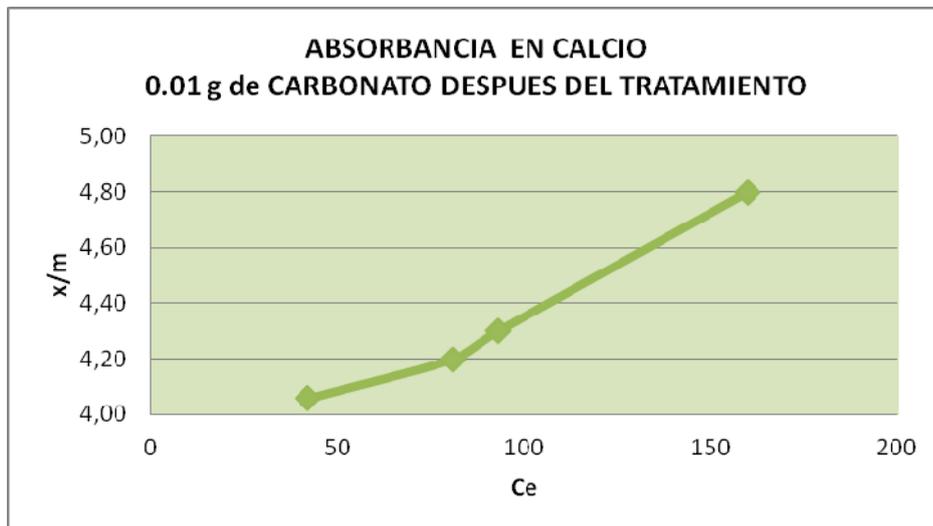
ABSORVANCIA CALCIO EN 0.01 g DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	$(Co - Ce) X$	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
184	184	0	0	0	0
184	160	24	5	4.80	33.30
184	93	91	15	4.30	21.60
184	81	103	25	4.20	19.30
184	42	142	35	4.06	10.40

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°11



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°27

4.3.1.4.3 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO

TABLA N° 28

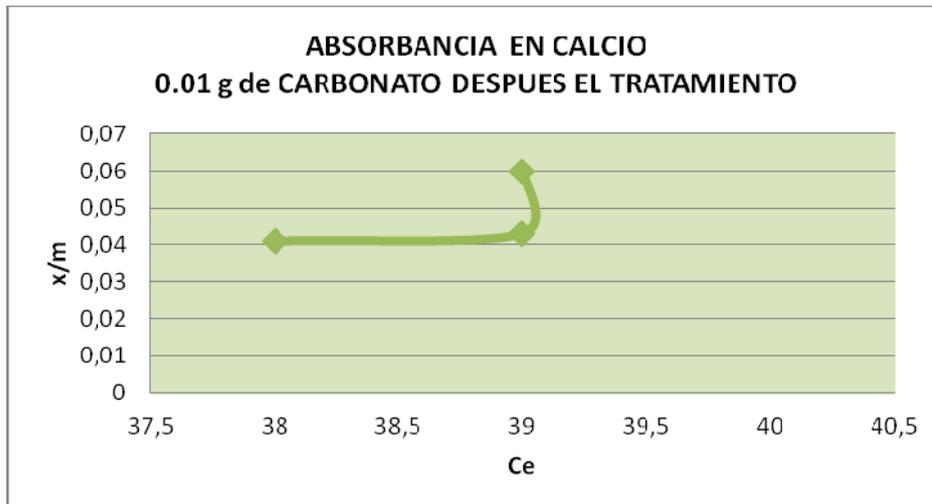
ABSORVANCIA EN MAGNESIO EN 0.01 g DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	$(Co - Ce) X$	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
40	40	0	0	0	0
40	40	0	5	0	0
40	40	0	15	0.06	666.70
40	39	1	25	0.04	907.00
40	38	2	35	0.04	926.80

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°12



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N°28

4.3.2 PARA EL AGUA

4.3.2.1 VOLUMEN CONSTANTE (100 mL) DESPUES DEL TRATAMIENTO

TABLA N° 29

Cantidad de resina (gramos)	Tiempo de permanencia (minutos)	Cantidad de agua recogida (ml)	Altura del lecho (cm)
5	3:32:28	95	2.00
15	4:30:22	90	5.50
25	4:54:30	83	9.50
35	5:03:28	73	12.00

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

TABLA N° 30

Cantidad de resina	pH	Conductividad	EDTA consumido	Dureza mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
5	8.08	890	6.50	520	435	85
15	8.01	890	5.50	440	357	83
25	8.02	890	4.50	360	279	81
35	8.00	790	3.50	280	200	80

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.3.2.2 VOLUMEN CONSTANTE (200 mL)

TABLA N° 31

Cantidad de resina (gramos)	Tiempo de permanencia (minutos)	Cantidad de agua recogida (ml)	Altura del lecho (cm)
5	4:58:06	195	2.00
15	9:38:85	185	5.50
25	10:18:29	175	9.50
35	11:49:55	165	12.00

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

TABLA N° 32

Cantidad de resina	EDTA consumido	Dureza mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
5	6.50	520	435	85
15	5.50	440	357	83
25	4.50	360	279	81
35	3.50	280	200	80

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.3.3 PARA LA RESINA

4.3.3.1 CANTIDAD DE RESINA CONSTANTE DESPUES DEL TRATAMIENTO

TABLA N° 33

Cantidad de resina	Tiempo de permanencia (m)	pH	Conductividad	Cantidad de agua recogida (mL)	Altura del lecho (cm)
35	5	8.02	890	76	12
35	10	8.02	890	75	12
35	15	8.04	890	76	12
35	20	8.10	800	75	12
35	25	8.12	800	76	12
35	30	8.12	800	75	12

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

TABLA N° 34

Cantidad de resina	Tiempo de permanencia	EDTA consumido	Dureza mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
35	5	3.50	280	200	80
35	10	3.50	280	200	80
35	15	3.60	288	206	82
35	20	3.60	288	206	82
35	25	3.60	288	206	82
35	30	3.70	296	212	84

Elaborado por: Javier Martínez

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.3.4 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA DUREZA TOTAL

TABLA N° 35

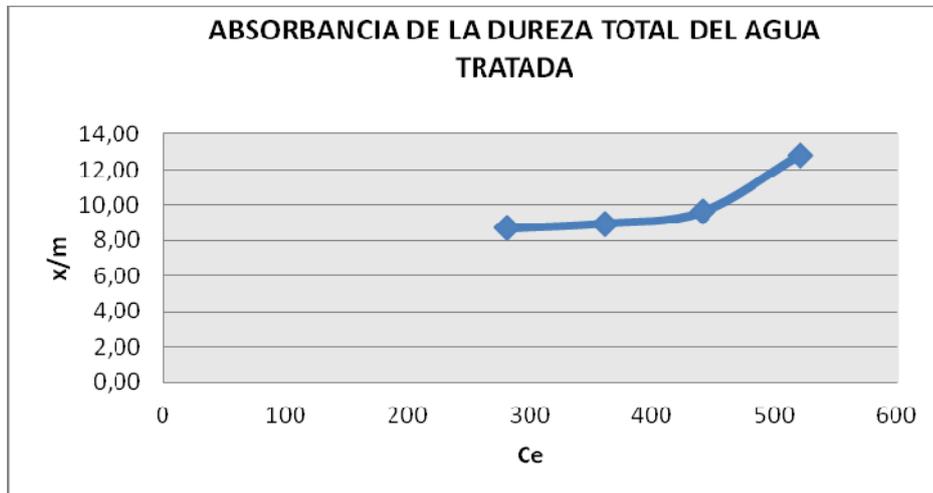
ABSORBANCIA DUREZA TOTAL DEL AGUA DESPUES DEL TRATAMIENTO

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
584	584	0	0	0	0
584	520	64	5	12.80	40.60
584	440	144	15	9.60	45.80
584	360	224	25	8.96	40.20
584	280	304	35	8.69	32.20

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°13



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N° 35

4.3.4.1 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN CALCIO

TABLA N° 36

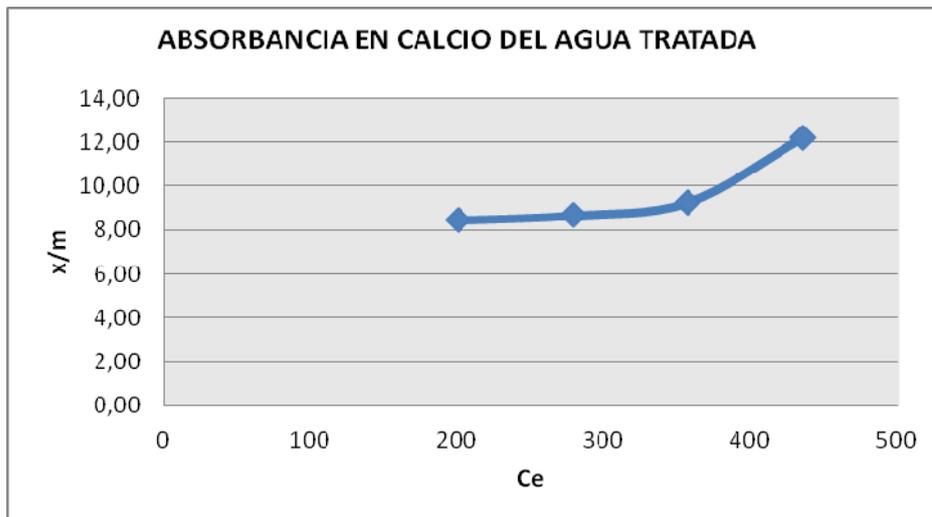
ABSORBANCIA EN CALCIO DEL AGUA TRATADA

Concentración Inicial C_o	Concentración final C_e	$(C_o - C_e) X$	Masa de resina	x/m	$C_e (x/m)$
496	496	0	0	0	0
496	435	61	5	12.20	35.70
496	357	139	15	9.27	38.50
496	279	217	25	8.68	32.10
496	200	296	35	8.46	23.60

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°14



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N° 36

4.3.4.2 CÁLCULOS PARA LA ABSORBANCIA EN MAGNESIO

TABLA N° 37

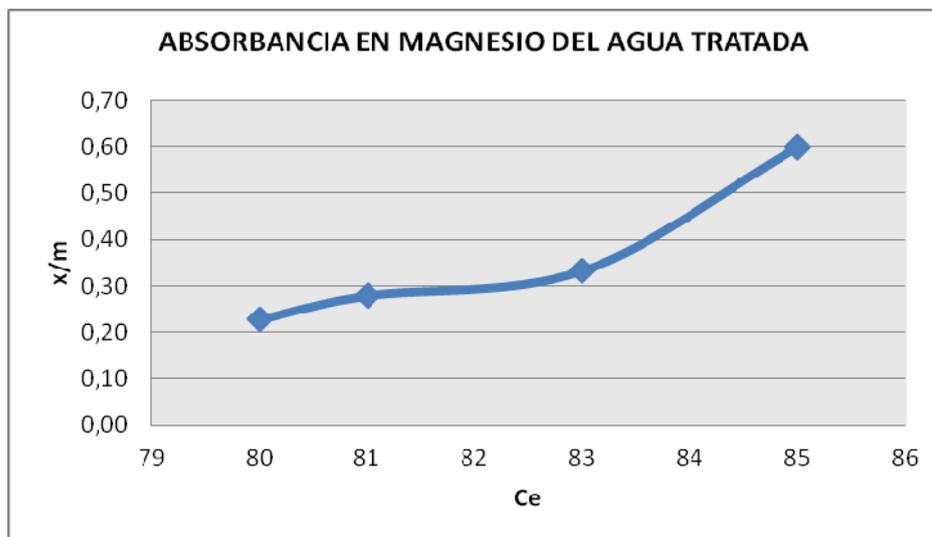
ABSORBANCIA EN MAGNESIO DEL AGUA TRATADA

Concentración Inicial Co	Concentración final Ce	(Co - Ce) X	Masa de resina	x/m	Ce (x/m)
88	88	0	0	0	0
88	85	3	5	0.60	141.70
88	83	5	15	0.33	249.00
88	81	7	25	0.28	289.30
88	80	8	35	0.23	350.00

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

GRAFICO N°15



Elaborado por: Javier Martínez
Fuente: Tabla N° 37

4.4 PARÁMETROS DE LA COLUMNA EXPERIMENTAL

TABLA N° 38

VARIABLES DEL DISEÑO	UNIDADES	RESULTADOS
Caudal	$m^3 / día$	3.20
Taza media de filtracion	$m^3 / m^2 día$	8.52
Area Total	m^2	3.02
Numero de filtros x modulo		2
Area por filtro	m	1.01
Ancho por compartimiento	m	0.32
Longitud de los filtros	m	1.59
Perdida de carga	m	0.07

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

4.5 ABLANDADOR

TABLA N° 39

VARIABLES DEL DISEÑO	UNIDADES	RESULTADOS
Caudal	m^3/dta	8.53
Taza media de filtracion	$m^3/m^2 dta$	1.10
Area Total	m^2	1.85
Numero de filtros x modulo		1
Area por filtro	m	0.85
Ancho por compartimiento	m	0.40
Longitud de los filtros	m	155
Perdida de carga	m	0.47
Tiempo de agotamiento de la resina	dias	81
Tiempo de Lavado	h	0.52
Volumen de lavado	L	83.50

Elaborado por: Javier Martínez
Marcelo Idrobo

Lugar: Laboratorio de F.Ciencias
Fecha: 18/01/2012

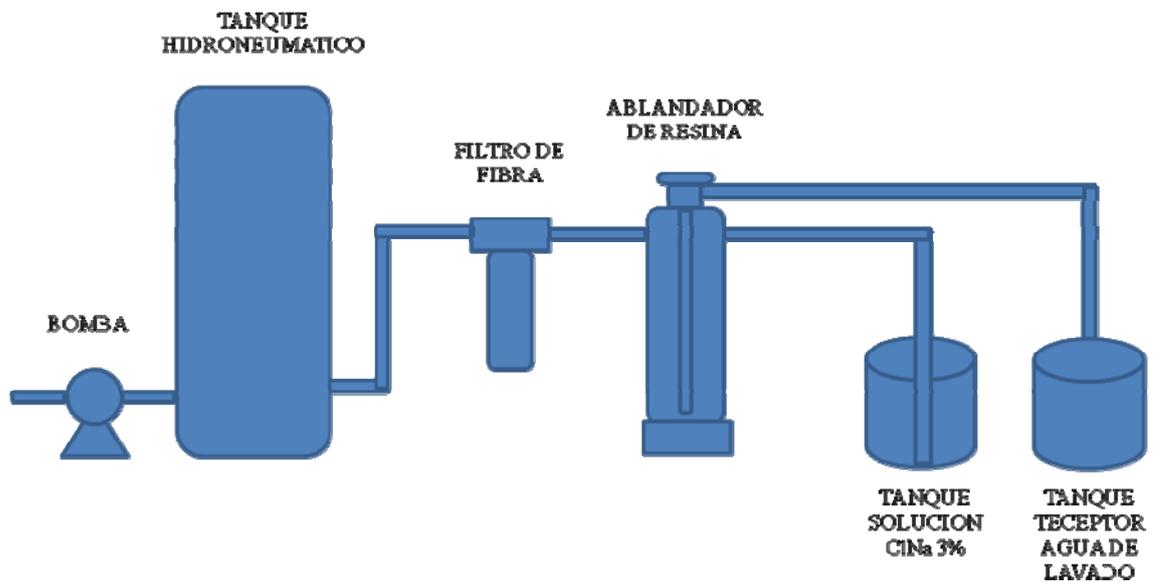
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos podemos decir que:

- Con la concentración de 0.5 g de Carbonato nos indica que la capacidad de intercambio es del 605,2 % ya que se inicia con una dureza de 840mg/L y luego de pasar por el filtro de resina se obtiene 125 mg/L a un pH de 7.5
- Para una concentración 0.1 g de Carbonato de Calcio se observó que la concentración inicial fue de 720 mg/L y la concentración final de 232 mg/L dándonos un porcentaje de 310 %.
- Con la concentración de 0.05 g del carbonato la concentración inicial fue de 552 mg/L y la concentración final de 392 mg/L siendo el porcentaje de 140.8 %.
- Finalmente para una concentración de 0.01 g del carbonato la dureza inicial es de 224 mg/L y la dureza final de 80 mg/L teniendo un porcentaje de 126.72 %.
- El tiempo de permanencia fue desde 5 minutos a 30 minutos e incluso hasta las 24 horas, tomando en consideración los 5 minutos ya que teníamos datos similares en el resto de las mediciones
- Además del tiempo se varió la masa que fue de 5, 15, 25, 35 g en las columnas de vidrio de 60 cm por 2 cm de diámetro encontrando que la masa óptima es la de 35 g ya que en esta se logró obtener los mejores intercambios.
- El pH del agua se encuentra en un valor de 7.5 esta dentro del límite permisible de la norma para Agua Potable que es de 5 a 9, sin representar peligro para el consumo humano.

- En base a análisis experimentales se utiliza cloruro de sodio al 3% para lograr un dopaje óptimo porque a concentraciones más bajas no existe intercambio jónico y a concentraciones altas existe una pérdida innecesaria de reactivo por que se obtiene aproximadamente los mismos resultados que cuando se trabaja con NaCl al 3%.

MANUAL DE OPERACION DEL ABLANDADOR



El presente esquema es un diagrama para guiarnos en como va a operar el ablandador de agua ubicado en la facultad de ciencias de la ESPOCH.

El mismo que cuenta con un filtro de fibra de 2 micras que sirve para eliminar sólidos disueltos de bajas dimensiones, el segundo es el ablandador propiamente dicho compuesto

en un 90% de resinas de intercambio ionico y un 10% de arena, grava y piedra, el cual adicionalmente esta constituido por una valvula a presión de ultima tecnología la cual realiza todo el trabajo del ablandador la cual soporta presiones de hasta 60 psi la cual es muy alta respecto a la presión obtenida de los tanques hidroneumáticos que es de 30 y 40 psi, la valvula inteligente dispone de tres posiciones que son, servicio, retro lavado y enjuague.

Además el ablandador cuenta con un sistema de presión continua provocada por el vacio generada por si misma causa por la cual no es necesaria aumentar otra bomba para la succion de la solución salina.

PASOS PARA OPERAR EL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO:

- Se coloca en posición de apagado el braker de la bomba-tannque hidroneumático para evitar que Cavite el tanque hidroneumático.
- Colocar en el tanque de color azul de capacidad de 100 litros, 3 kilogramos de sal en grano por cada pie cubico en los 100 litros de agua y hacer que se disuelva completamente la sal.
- Mover la válvula de posición servicio a posición de retro lavado verificando que este lista la solución salina y mantener en esta posición durante 20 min.
- Mover la válvula de la posición de retro lavado a la posición en juague rápido y mantener en esta posición por 45 min.

- Una vez terminada por completo el enjuague de la resina, verificando el cambio de color del agua de turbia a clara, cambiar la posición de la válvula a servicio y encender el breaker de la bomba.

CONCLUSIONES

- La Caracterización previa del agua utilizada nos dio como resultado un agua dura 800 mg/L y una conductividad de 890 uS. Después de pasarla por el medio filtrante obtuvimos un agua semi blanda de 125 mg/L y una conductividad de 350uS que es un valor aceptable para la utilización del agua en el destilador.
- Las pruebas de intercambio de iones con la resina se realizó con soluciones de concentraciones conocidas de Carbonato de Calcio que iba desde 0.01 g hasta 0.5 g, de igual manera la cantidad de resina iba de 5 a 35 g, y el tiempo de permanecía va desde 5 hasta 30 minutos, hasta llegar a obtener la cantidad óptima de resina para el intercambio siendo de 35 g en un tubo de vidrio de 60 cm. de longitud y 2 cm. de diámetro y con un caudal de 100 ml a nivel experimental.
- Se dimensionó el ablandador basados en los datos obtenidos de manera experimental, haciendo un escalado para la cantidad de caudal que se obtiene en el laboratorio siendo el área utilizada en el ablandador de 0.853 m, y de 1.5 m de longitud, ya que estudios realizados con resina ionica demuestran que estos parámetros son ideales para este tipo de intercambio.
- Los Docentes de la Facultad de Ciencias deberán designar a una persona para dar mantenimiento al ablandador ya que es un equipo necesario y no requiere de altos costos para su mantenimiento e incluso se podrá construir otro ya que sus costos son mínimos pero su aporte es grande para todos los estudiantes

RECOMENDACIONES

- Como importante recomendación verificar que exista agua en la llave para de esta manera evitar que cavite la bomba del ablandador.
- Antes de utilizar el ablandador es necesario realizar un previo lavado con agua destilada pero en forma descendente.
- Para el mejor funcionamiento y vida útil del ablandador se recomienda seguir paso a paso lo que indica en la operacionalidad del ablandador.
- Revisar que las válvulas del filtro que no este trabajando estén cerradas para que de esta manera se realice la regeneración y así evitaremos que se contamine el filtro que este operando.
- La columna del ablandador esta diseñada para trabajar aproximadamente 83 días las 24 horas del día, pero como solo se trabajara en momentos en donde se requiera baja cantidad de agua, por lo que se provee que esta columna tendrá un tiempo de agotamiento de mas o menos unos 3 meses para lo cual se recomienda preparar la solución de regeneración máximo unos tres días antes de que haya dejado de trabajar la columna.
- Es necesario ir lavando con agua salina NaCl 3% frecuentemente la columna que estuvo en regeneración para así evitar que vayan acumulando impurezas y evitando también el agotamiento de la resina.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- 1. ARBOLEDA., J.,** Teoría y práctica de la purificación del agua.,3^{ra} ed., Bogotá-Colombia., Acodal., 2000., Pp. 364 – 631, 748 – 760.
- 2. FAIR., M.,** Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales., s.ed., DF México-México., Perski., 1980., Pp. 484 – 492.
- 3. KEMMER., F.,** Manual de agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones., s.ed., DF México- México., Limusa., 1990., Pp. 356 – 400.
- 4. METCALF., H., y HEDDY.,G.,** Ingeniería de aguas residuales., s.ed., Madrid-España., McGraw-Hill.,2001., Pp. 480 – 520, 890 – 920.
- 5. SRANK., N.,** Manual de agua en su naturaleza, tratamiento y aplicación., s.ed., DF México-México., Cipesa., 1990., Pp. 115 – 130.
- 6. ROMERO., J.,** Purificación del agua. Escuela Colombiana de Ingeniería., s.ed., Bogota-Colombia., Prentice Hall., 2002, Pp. 193 – 241, 333 – 340.

7. **RUDENKO., G.,** Filtro de resina para tratamiento de aguas con alta turbiedad en la región sierra., 2^{da} ed., Madrid-España., McGraw-Hill., 1992., Pp. 56 – 60.

BIBLIOGRAFÍA INTERNET

8. TRATAMIENTO DE AGUA

www.monografias.com/trabajo5/anagua.html

www.chem.uwimona.edu.jm.aguatratada

2011-11-13

9. QUE ES RESINA, CLASIFICACIÓN.

www.ud.cl/mina/resina.com

www.iqes.es/es/html/pro_resina_a.html

www.gtamart.com/mart/products/resina

www.iche.org/docs/chapterone/resina.html

www.mineria.com/ssm/dinami/bdd/dato_adi.html

2011-11-20

10. TIPOS DE ABLANDADORES

www.aguamarket/ablandador.com

www.astm.org.ablandador/filtros

www.epa.gov/ttn/catc

2011-12-15

ANEXOS

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108

AGUA POTABLE REQUISITOS

PARÁMETRO máximo	UNIDAD	Límite
Permisible		
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
Inorgánicos		
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0.3
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Cloruros, Cl	mg/l	250
Nitratos, N – NO ₃	mg/l	10
Nitritos, N – NO ₂	mg/l	0.0
Dureza Total, CaCO ₃	mg/l	300
Arsénico, As	mg/l	0.01
Cadmio, Cd	mg/l	0.003
Cromo, Cr como hexavalente	mg/l	0.05
Cobre, Cu	mg/l	1.0
Cianuros, CN	mg/l	0.0
Plomo, Pb	mg/l	0.01
Mercurio, Hg.	mg/l	0.0
Selenio, Se	mg/l	0.01
Cloro libre residual*	mg/l	0.3 – 1.5
Aluminio, Al	mg/l	0.25
Amonio, (N – NH ₃)	mg/l	1.0
Antimonio, Sb	mg/l	0.005
Bario, Ba	mg/l	0.7

Boro, B	mg/l	0.3	
Cobalto, Co	mg/l	0.20	
Estaño, Sn	mg/l	0.1	
Fósforo, (P – PO ₄)	mg/l	0.1	
Litio, Li	mg/l		0.2
Molibdeno, Mo	mg/l	0.07	
Níquel, Ni	mg/l	0.02	
Plata, Ag	µg/l	0.13	
Potasio, K	mg/l	20	
Sodio, Na	mg/l	200	
Vanadio, V	µg/l	6	
Zinc, Zn	mg/l	3	
Flour, F	mg/l	1.5	

Radioactivos

Radiación Total α**	Bq/l	0.1
Radiación Total β***	Bq/l	1.0

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu.

*** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra.

Orgánicos

Tensoactivos ABS (MBAS)	mg/l	0.0
Fenoles	mg/l	0.0

Sustancias Orgánicas

	Límite máximo µg/l
Alcanos clorinados	
- tetracloruro de carbono	2
- Diclorometano	20
- 1,2 dicloetano	30
- 1,1,1 – tricloetano	2000
Etanos clorinados	
- Cloruro de vinilo	5
- 1,1 dicloroetano	30
- 1,2 dicloroetano	50
- tricloroetano	70
- Tetracloroetano	40
Hidrocarburos Aromáticos	
- Benceno	10
- Tolueno	170

- Xileno	500
- Etilbenceno	200
- Estireno	20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	
- benzo (a)pireno	0.01
- benzo (a)fluoranteno	0.03
- benzo (k)Fluoranteno	0.03
- benzo (ghi)pirileno	0.03
- indeno (1,2,3-cd)pireno	0.03
Bencenos clorinados	
- monoclorobenceno	300
- 1,2-diclorobenceno	1000
- 1,3-diclorobenceno	
- 1,4-diclorobenceno	300
- triclorobenceno (total)	20
di(2-etilhexil)adipato	80
di(2-etilhexil) ftalato	8
acrylamida	0.5
epiclorohidrin	0.4
hexaclorobutadieno	0.6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	200
Ácido nitrotriacético	200
Dialquil	
Oxido tributiltin	2

Pesticidas

	Límite máximo µg/l	
Alaclor		20
Aldicarb	10	
Aldrin/dieldrin		0.03
Atrazina	2	
Bentazona	30	
Carbofuran	5	
Clordano	0.2	
Clorotoluron	30	
Dicloro difenil tricloroetano DDT	2	
1,2-dibromo-3-cloropropano	1	
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D		30
1,2- dicloropropano	20	
1,3-dicloropropeno	20	
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilen dibromide	0.03	
Hexaclorobenceno	1	
Isoproturon	9	
Lindano	2	
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	2	
Metoxyclo	10	
Molinato	6	

Pendimetalin	20
Pentaclorofenol	9
Permetrin	20
Propanil	20
Piridato	100
Simazina	2
Trifluralin	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB	90
Dicloroprop	100
Fenoprop	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	2
Mecoprop	10
2,4,5-T	9

Residuos de Desinfectantes

	Límite máximo µg/l
Monocloramina, di y tricloramina	3
Cloro	5

Subproductos de desinfección

	Límite máximo µg/l
Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	
- 2,4,6-triclorofenol	200
Formaldehído	900
Trihalometanos	
- bromoformo	100
- diclorometano	100
- bromodiclorometano	60
- cloroformo	200
Ácidos acéticos clorinados	
- ácido dicloroacético	50
- ácido tricloroacético	100
Hidrato clorado	
- Tricloroacetaldeido	10
Cloroacetona	
Acetonitrilos Halogenados	
- Dicloroacetoniitrilo	90
- Dibromoacetoniitrilo	100
- Tricloroacetoniitrilo	1
Cianógeno clorado (como CN)	70

ABLANDAMIENTO DE AGUA MEDIANTE EL USO DE RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO.

Introducción

¿Qué son las sales?

Las sales también llamadas minerales son sustancias formadas por cristales microscópicos, los cuales a su vez se componen de partículas aun mucho más pequeñas llamadas iones. Los iones son partículas con cargas eléctricas; aquellos iones con carga positiva se llaman cationes, mientras que los aniones son cargados con negativamente. Las sales se forman por unión de los aniones y cationes, los cuales se atraen mutuamente debido a que sus cargas son opuestas. Por consecuencia las sales terminan siendo eléctricamente neutra, es decir sin carga neta.

A fin de ilustrar lo dicho anteriormente, tomamos como ejemplo la sal común o sal de mesa. Cuando tenemos un puñado de sal en nuestra mano, podemos notar que su estado es sólido y que está dividida en pequeños cristales. Estos cristales que se pueden observar a simple vista, están formados por cristales microscópicos, y a su vez estos últimos, por los aniones y cationes. Su nombre químico es cloruro de sodio, y la razón de su nombre reside en el hecho de que se compone por aniones cloruro, y cationes sodio. En química se usan símbolos para representar las distintas sustancias, de manera tal que la escritura sea más fácil y abreviada. Para este ejemplo:

NaCl= cloruro de sodio

Donde **Na⁺** = catión sodio: **Cl** = anión cloruro

Notar que la sal no tiene carga neta, porque la carga positiva de **Na⁺**, se compensa con la negativa del **Cl**.

¿Qué pasa cuando las sales entran en contacto con agua?

El cloruro de sodio (la sal de mesa) y el carbonato de calcio. Esta última es una de las sales que forman sarro.

	Sal No. 1: Cloruro de sodio	Sal No. 2: Carbonato de calcio
¿Qué se observa al agregar una cucharada de la sal en agua?	Se disuelve	No se disuelve
¿Qué tipo de mezcla se forma?	Homogénea ²	Heterogénea
Tipo de sal	Soluble	No soluble (insoluble)

Explicación de resultados:

Análisis caso del cloruro de sodio: Si existiera un microscopio muy potente, se podría observar el siguiente fenómeno:



Esta ecuación química, indica que la sal se “disocia”, lo cual significa que se rompe las uniones entre los iones que la forma, y esto es causado por la presencia de agua. En general, cualquier sal será soluble en agua, si la presencia de esta permite vencer las fuerzas que mantienen unidos a los iones que la forman:



De esta forma, ya no podemos observar mas los cristales de sal dentro del agua, porque se han separado en iones, los cuales se encuentran “dando vueltas” en el agua. Por ejemplo si observamos la etiqueta de cualquier agua mineral, podremos observar los minerales (sales) que componen esta agua. Dado que nosotros no vemos un deposito de minerales en el fondo de la botella, deducimos que estas sales deben estar disociadas (disueltas) en el agua, y sus iones deben estar moviéndose libremente por el volumen del liquido.

En cambio, la otra sal no se disolvió en agua, lo cual se debe a que las uniones entre los iones son muy fuertes, y la presencia de agua no es suficiente para romperlas.

Cabe aclarar que la solubilidad, que es la capacidad que tiene una sal de disolverse en un dado líquido, no es un fenómeno del tipo "todo o nada". Decir que las sales se separan en soluble y no soluble es solo una generalización. En realidad, las sales tienen una dada solubilidad, que puede ser alta, baja o intermedia lo cual depende no solo de la propia sal sino también de la temperatura y del tiempo de solución en que se está tratando de disolver. Hasta aquellas sales con alta solubilidad pueden llegar a precipitar si se agregan en gran cantidad al líquido.

El problema de las aguas duras

Salvo que estemos hablando de agua destilada, siempre el agua va a tener minerales disueltos. Hay veces en que algún tipo de ion (que proviene de la disolución de una dada sal), se encuentran en un concentración³demasiada alta. Esto es lo que ocurre con las aguas duras.

El agua dura es la que contiene iones calcio (que se simbolizan como (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}) en concentraciones superiores a unas 60 ppm³. Estos iones se encuentran normalmente en el agua, pero su alta concentración provoca inconvenientes en la vida diaria debido a la formación de sarro. El sarro se forma, por la combinación entre iones calcio o magnesio y jabón, para dar una sal insoluble en agua, que consecuentemente precipita. Entonces, si el agua es demasiado dura, además de no producirse la cantidad normal de espuma, el sarro se deposita sobre distintas superficies, como también en los elementos de cocina. Otra manera en que se forma el sarro, es por la combinación de Ca^{++} o Mg^{++} con aniones carbonato, que se encuentran normalmente en el agua; este es el sarro que tapa las tuberías, calderas, etc.

Nota: los cationes calcio y magnesio se simbolizan con dos signos "+", debido a que tienen dos cargas positivas, a diferencia del sodio que tiene solo una.

Intercambio de iónico: una técnica para ablandar aguas

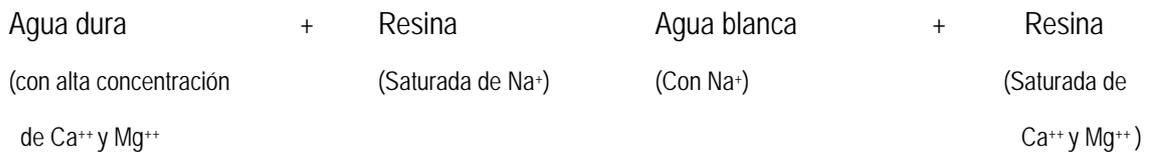
El agua se puede suavizar eliminando los iones calcio y magnesio (Ca^{++} y Mg^{++}). Una vez que se ha conseguido esto, se denomina agua blanda. Algunas aguas son naturalmente blandas, en tanto que

otras tienen diferentes grados de dureza. Uno de los medios comunes para suavizar el agua es mediante el intercambio iónico.

El intercambio iónico es una técnica que permite intercambiar iones entre un líquido y un sólido (este sólido es el "intercambiador"). El sólido es llamado resina y hay de dos tipos: las resinas catiónicas, que intercambian cationes, y las aniónicas, que como su nombre lo indica, intercambian aniones. Para el ablandamiento de aguas, se utilizan resinas de intercambio catiónico, ya que se desean remover los cationes Ca^{++} y Mg^{++} . La resina inicialmente está cargada de cationes sodio (Na^+), y estos serán los iones que pasaran al líquido al mismo tiempo que los cationes Ca^{++} y Mg^{++} quedaran retenidos en la resina. De allí el nombre de la técnica, los iones son literalmente intercambiados.

Cabe recalcar que los iones sodio que son introducidos al agua, no confieren dureza a la misma ya que no forman sarro.

En la siguiente ecuación química se resume el proceso de intercambio iónico:



Notar que los iones calcio y magnesio pasan del agua al sólido (resina), mientras que los iones sodio pasan de la resina al agua.

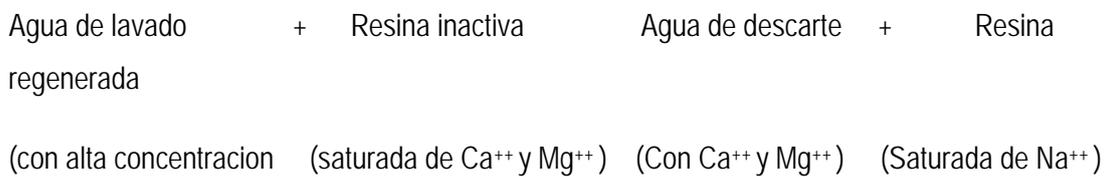
Regeneración de la resina

¿Qué ocurre cuando la resina ya no tiene más iones sodio para ser intercambiados?

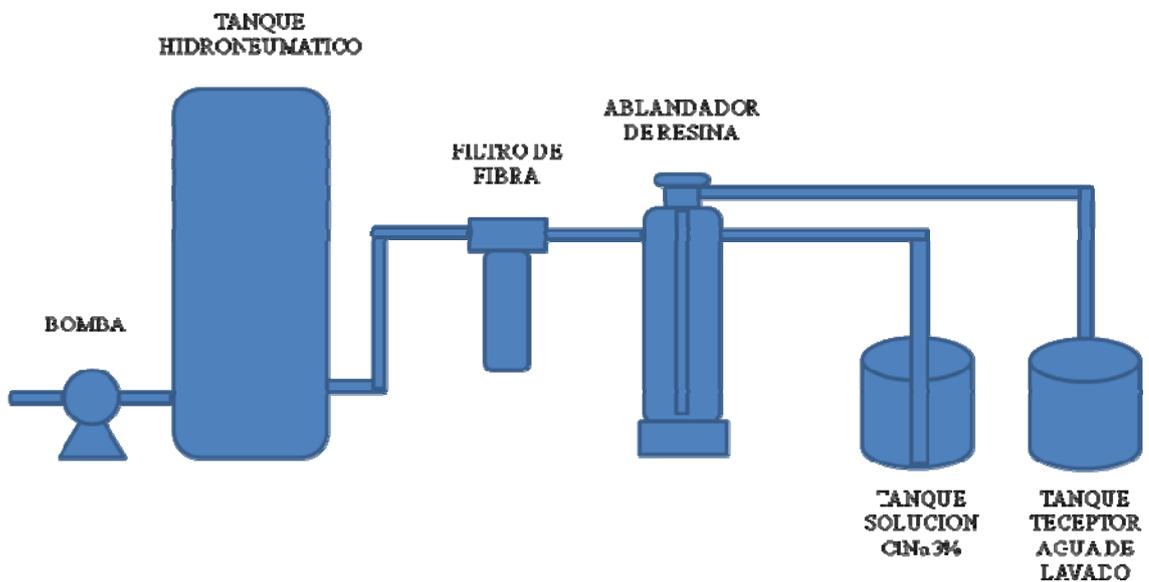
En este caso, es cuando decimos que la resina está saturada de Ca^{++} y Mg^{++} , lo cual significa que todos los lugares anteriormente ocupados por el sodio, ahora lo están por los iones Ca^{++} y Mg^{++} : en este caso ya no ablanda más el agua porque el intercambio se frena. Sin embargo, la resina puede regenerarse fácilmente. Lo que se hace para regenerar la resina es justamente la operación inversa: se hace pasar una solución concentrada de cloruro de sodio por la resina, de modo de que todos los iones sodio que están en el líquido, ahora pasaran a tomar el lugar de Ca^{++} y Mg^{++} , llevando la

resina a su forma original y activa, lista para ser usada nuevamente. En el líquido quedarán los iones que provocan la dureza del agua, y este luego será descargado. La regeneración de la resina puede ser realizada muchas veces antes de que sea necesario desecharla. Es importante tener en cuenta que la vida útil de la resina puede ser muy corta si se hace pasar a través de ella, agua con gran cantidad de partículas en suspensión, las cuales tapan los orificios de la resina: esto se evita haciendo pasar primero el agua por un filtro de sedimentos.

En la siguiente ecuación química se resume el proceso de regeneración de la resina:



BOSQUEJO DE COMPONENTES DEL EQUIPO DE ABLANDAMIENTO DE AGUAS A BASE DE RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO



El bosquejo indica gráficamente el proceso al que es sometido el agua de alta dureza para su ablandamiento, el mismo que se encuentra instalado en la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química.

Realizado el estudio correspondiente se determino la instalación de dos equipos de las mismas características puesto que son dos cisternas las que abastecen a los laboratorios de la Facultad de ciencias.

Componentes del equipo de ablandamiento y funciones

- **Bomba**

Instrumento encargado de la succión del agua que proviene de la cisterna, trabaja en base energía eléctrica con una potencia de 2 Hp, la cual ya existía.



- **Tanque Hidroneumático**



Compuesto por acero inoxidable, altura de 2m x 0.80 m de diámetro, trabaja conjuntamente con la bomba, es decir que cuando existe una baja de presión enciende automáticamente a la bomba esto sirve para el trasportar del agua que se encuentra en la cisterna. Mantiene una presión máxima de 100 psi y una mínima de 20 psi.

- **Filtro de fibra**

Accesorio compuesto por una carcasa azul de polietileno, que en su interior se amolda un cartucho de fibra de 2 micras, que sirve para retener sólidos en suspensión que se encuentran en el agua que provienen de la cisterna, está instalado previo al ingreso del ablandador, puesto que es importante tener en cuenta que la vida útil de la resina puede ser muy corta si se hace pasar a través



de ella, aguas con gran cantidad de partículas en suspensión, las cuales tapan los orificios de la resina; esto se evita haciendo pasar primero el agua por un filtro de sedimentos.

El mantenimiento de este filtro se deberá realizar una vez al mes, ya que este instrumento se encarga de atrapar sustancias no propias impidiendo el ingreso al ablandador, debiendo este ser lavado mediante presión de agua para eliminar las impurezas concentradas en sus compartimientos.

- ***Ablandador a base de resina***

Instrumento fundamental del equipo de ablandamiento, diseñado de acuerdo al caudal que se maneja a diario en los laboratorios el cual es de 8m³/ día aproximadamente, en base a la dureza del agua establecida en los análisis previos que fue de 800 ppm inicial obteniendo una reducción de dureza de un 70%.

Este cilindro está construido en base a normas técnicas, de fibra de vidrio prensado, combinado con polietileno de alta resistencia a presiones superiores a 50 psi, con una capacidad de 2 pies³ de material ablandante, por lo que su área de transferencia es de 0.80m², debido a esto las dimensiones ideales del equipo son de 1.5 m de alto x 0.40 m de ancho.



 ***Resina***



Compuesto químico poroso constituido por la mezcla de estireno y divinilbenceno (DVB) cargados porlarmente para que se produzca el intercambio iónico, dentro del ablandador se coloco un 80% de resina; 10% de grava y un 10% de arena su función será; en el momento de agitación en el proceso de ablandamiento desprender los carbonatos pregnados en la resina.

De acuerdo al tratamiento y a la cantidad de dureza de aguas ablandadas se puede estimar la vida útil de la resina entre 3 a 7 años.

- ***Válvula polifuncional***

Dispositivo que desempeñará varias funciones específicas para este tipo de sistema de ablandamiento. Su funcionamiento es realizar los diferentes procesos dentro que se darán al interior del tanque ablandador los cuales son:



PROCESOS DE LA VALVULA

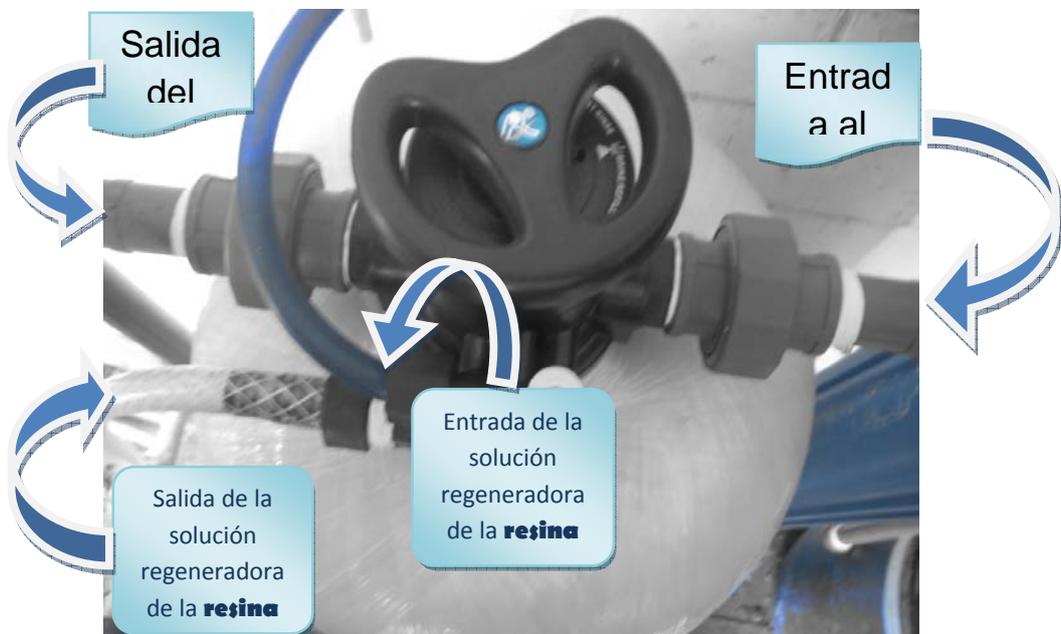
1. SERVICE – Servicio
2. BACKWASH – Retrolavado
3. BRINE & SLOW – Regeneración

SERVICIO: VALVULA EN POSICION SERVICE; en este proceso se realiza la operación del ablandamiento, es decir que ingresa el agua que proviene del filtro de fibra de 10 micras, una vez adentro la resina empieza a realizar la operación de intercambio iónico, para posteriormente evacuar el agua ya tratada a la red de distribución para los laboratorios.

RETROLAVADO: VALVULA EN POSICION BACKWASH; en este proceso la válvula ordena que se realice la acción de lavado de las resinas en contra corriente al flujo normal, puesto que ingresa el fluido de agua por la parte inferior del tanque, haciendo que se agite el material ablandante eliminando las impurezas y de exceso de sal, este proceso tienen una duración de 30 minutos.

REGENERACION: VALVULA EN POSICION BRINE & SLOW; en esta posición la válvula establece la operación de regeneración para lo cual se utiliza una solución de NaCl 3% por cada pie cubico de resina cationica. Esta operación consiste en el intercambio iónico de la resina con la solución salina que quiere decir que: la resina elimina los CaCO_3 de Ca y Mg quedando cargada por los iones de sodio es decir que la resina esta nuevamente activada. Este proceso tendrá una duración de 45 a 60 minutos.

ENTRADA Y SALIDAS DE SUBSTANCIAS



El equipo está diseñado para trabajar las 24 horas al día pero los laboratorios trabajan máximo 6 horas al día, a excepción de los fines de semana, consumiendo un caudal mínimo por lo que se concluye que el tiempo de RETROLAVADO Y REGENERACION está relacionado directamente con la presión del tanque hidroneumático, esto quiere decir que cuando exista presiones bajas se deberá verificar el sistema de ablandamiento para comprobar si es necesario la regeneración de la resina.

Debido a pruebas efectuadas en el laboratorio en la investigación de factibilidad del proyecto se determino que el tiempo aproximado del mantenimiento de la resina, varia de 60 a 80 días, tomando en cuenta el tiempo que utilizan los laboratorios.

PASOS PARA OPERAR EL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO:

- Se apaga el braker de la bomba-tanque hidroneumático para evitar que Cavite la bomba-tanque hidroneumático.
- Colocar en el tanque de color azul de capacidad de 100 litros, 3 kilogramos de sal en grano por cada pie cubico en los 100 litros de agua y esperar que se disuelva completamente la sal.
- Mover la válvula de posición servicio a posición de regeneración verificando que este lista la solución salina y mantener en esta posición durante 45 min.
- Mover la válvula de la posición de regeneración a la posición de retro lavado y mantener en esta posición por 30 min.
- Una vez terminada por completo el lavado de la resina, verificando el cambio de color del agua de turbia a clara, cambiar la posición de la válvula a servicio y encender el braker de la bomba.



Datos referenciales:

Elaborado por:

- **Javier Rafael Martínez Bayas** **Dirección:** Ingahurco Bajo – Calle Suecia y Grecia
S/N
Ambato – Ecuador
Contacto: 087446499
- **Marcelo Gonzalo Idrobo Jaya** **Dirección:** Cdla. 24 de Mayo
Riobamba – Ecuador
Contacto: 084308773

Contacto:

Proveedores:

Ing. Manuel Benalcazar **Dirección:** Entrada Llano Grande, Cdla La Alegría;
Oficina, 87
Quito – Ecuador
Contacto: 099660149